



EESTI MAAÜLIKOOL

Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

**Anu Riisalu**

**VILJELUSVIISI MÕJU NISU TÄRKLISETERADE  
OMADUSTELE**

**THE IMPACT OF FARMING SYSTEM ON THE WHEAT  
STARCH GRANULE CHARACTERISTICS**

Magistritöö

Põllumajandussaaduste tootmise ja turustamise õppekava

Juhendajad: vanemteadur Evelin Loit, *PhD*

teadur Maarika Alaru, *PhD*

Tartu 2017

# LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Anu Riisalu		Õppekava: Põllumajandussaaduste tootmine ja turustamine	
Pealkiri: Viljelusviiside mõju nisu tärkliseterade omadustele			
Lk: 52	Joonised: 15	Tabeleid: 8	Lisasid: 3
Osakond:		Taimekasvatuse ja rohumaa viljelus	
Uurimisvaldkond:		Taimekasvatuse, B390	
Juhendajad:		Evelin Loit, PhD Maarika Alaru, PhD	
Kaitsmiskoht ja aasta:		Tartu, 2017	
<p>Nisu katab olulise osa inimese toidulauast. Tähtsustab suurema osa nisu terisest ja tähtsustab kvaliteeti mõjutab nisust saadava jahu kvaliteeti. Käesoleva uurimustöö eesmärgiks oli uurida mahe- ja tavasüsteemis kasvatatud talinisu tähtsust omadusi. Töö eesmärkideks oli välja töötada protokoll tähtsusteterade analüüsimiseks ning välja selgitada, kas viljelusviis ja väetuse variandid omavad mõju talinisu tähtsust graanulite suurusele ja arvukusele ning kas tähtsusteterade ja kvaliteedinäitajate vahel on olulisi seoseid.</p> <p>Töö hüpotees oli, et viljelusviis ja lämmastikunorm mõjutab tähtsusteterade suurust ja maheviljelusviisil kasvatatud nisul on tähtsusteterade läbimõõt väiksem kui tavaviljelusviisil kasvatatud nisul.</p> <p>Töös analüüsiti nisuproove, mis koguti viljelusviiside võrdluskatselt aastatel 2015 ja 2016. Tähtsusteterad eraldati kahel erineval meetodil ning tähtsusteterade suurused ja arvukused mõõdeti samuti kahel erineval meetodil, käsitsi mikroskoobiga ja laseriga.</p> <p>Viljelusviis ei oma mõju tähtsusteterade läbimõõdule ja arvukusele. Peamiseks mõjutajaks uuritava perioodi on kasvuaegne ilmastik. Samuti leidub seos tähtsusteterade läbimõõdu ja arvukuse vahel.</p> <p>Kui tähtsusteterade keskmine läbimõõt väheneb, siis tähtsusteterade koguarv suureneb; kui keskmine läbimõõt suureneb, siis koguarv väheneb. Mida väiksem on tähtsusteterade keskmine läbimõõt ja mida suurem koguarv, seda suurem on ka talinisu terasaak. Suurema terasaagi puhul esimesel jahvatamisel saadav peenjahu kogus väiksem kui madalama terasaagi puhul. Mida rohkem (ja väiksema läbimõõduga) on tähtsusteterad, seda suurem on nisu terise mahumass.</p> <p>Kuigi käesoleva töö tulemused seadud hüpoteesi ei toeta, on testitud protokollide abil võimalik analüüsida tähtsusteterade suuremas mahus, et anda kindlamat hinnangut viljelusviisi mõju kohta.</p>			
Märksõnad: talinisu, kvaliteet, tähtsust, maheviljelus, tavaviljelus			

## ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Masters thesis	
Author: Anu Riisalu		Speciality: Production and Marketing of Agricultural Products	
Title: The impact of farming system on the wheat starch granule characteristics			
Pages: 52	Figures: 15	Tables: 8	Appendixes: 3
Department:		Field Crops and Grassland Husbandry	
Field of research:		Field Crops, B390	
Supervisors:		Evelin Loit, PhD Maarika Alaru, PhD	
Place and date:		Tartu, 2017	
<p>Wheat is a staple food for humans. The majority of the wheat seed is starch. The quality of starch has impact on the quality of products made down the line. Therefore, the aim of the current study was to analyze the starch granules in different farming systems. More specifically, the aim was to develop a protocol to extract starch from the seed and to analyze its size distribution. The second aim was to characterize the starch granules in each farming system and to find correlations between starch, farming system and quality criteria. The hypothesis was set that starch granules are smaller in the organic farming system.</p> <p>Wheat samples were collected in 2015 and 2016 from the long-term field experiment. Starch was extracted manually directly from the seed. Also the byproduct of gluten index measurement protocol was used to starch extraction. The size distribution of starch granules was measured manually with the microscope and mechanically with the laser-diffraction particle size analyzer.</p> <p>The farming system had no statistically significant impact on the starch granule size distribution. The weather conditions had the biggest impact. However, there was a clear correlation between diameter and number of starch granules.</p> <p>If the size of wheat starch granule decreases, the amount of granules increases. If the size increases, the amount decreases. Smaller granules means higher wheat yield. Higher yield gives less fine flour during first milling. Bigger amount of granules makes wheat grain harder and gives it bigger volume mass. Those grains are hard to grind and they give less fine flour during the first milling.</p> <p>Even though the current study did not provide proof for the set hypothesis, it yielded a good study protocol to conduct the analysis on larger scale to properly assess the impact of the farming system on the starch granules.</p>			
Keywords: winter wheat, quality, starch, organic farming, conventional farming			

# SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	7
1.1. Nisu üldiseloomustus.....	7
1.1.1. Talinisu kasvatamine Eestis.....	7
1.2. Nisu tärkis.....	10
1.2.1. Tärkliseterade liigitamine .....	11
1.2.2. Tärklise biosüntees .....	11
1.2.4. Välistegurite mõju tärklise tekkele.....	12
1.2.4. Tärklise mõju nisujahu kvaliteedile.....	12
2. MATERJAL JA METOODIKA .....	14
2.1. Põldkatse metoodika .....	14
2.1.1. Tehtud tööd.....	15
2.2. Keemilised analüüsid.....	17
2.3. Tärklise eraldamine.....	17
2.3.1. Otse teradest tärklise eemaldamine .....	17
2.3.2. Tärklise eraldamine gluteeniindeksi määramisega samaaegselt.....	18
2.4. Tärklisegraanulite mõõtmine ja analüüsimine .....	18
2.4.1. Tärkliseterade mõõtmine ja analüüsimine käsitsi.....	18
2.4.2. Tärkliseterade mõõtmine ja analüüsimine masinaga .....	19
2.5. Ilmastik .....	19
2.6. Andmeanalüüs .....	20
3. TULEMUSED.....	21
3.1. Tärkliseterade proportsionaalne arvukus .....	21
3.2. Tärkliseterade keskmised läbimõõdud.....	24
3.3. Tulemused mõõdetuna laserigaMalvern Mastersizer Hydro 3000 .....	31
3.4. Tärkliseterade osakaalu ja suuruse mõju talinisu saagi ja kvaliteedi näitajatele.....	31
4. JÄRELDUSED JA ARUTELU .....	38
KOKKUVÕTE.....	42
KASUTATUD KIRJANDUS .....	43
SUMMARY .....	47
LISAD .....	48
LISA 1. Teraviljade kasvupind ja kogutoodang aastatel 2006-2016 .....	49
LISA 2. Tärkliserad mikroskoobi all.....	50
LISA 3. Lihtlitsents.....	51

## SISSEJUHATUS

Nisu (*Triticum aestivum* L.) on maisi ja riisi kõrval üks olulisemaid teravilju maailmas. Seda kasvatatakse inimestele toiduks ning loomadele söödaks. Tänu nisuvalgu ehk gluteeni sisaldusele on nisujahust võimalik valmistada erinevaid toiduks sobilikke tooteid. Tärklis on peamine endospermi koostisosa. Kuna tegu on süsivesikuga, on tärklis oluliseks energiaallikaks nii inimeste toidulaua kui ka loomasöödas. Tärklis koosneb erineva suurusega teradest, mis jagatakse läbimõõdu alusel fraktsioonidesse. Kuna tärklis ja tärkliseterade läbimõõt mõjutab nisuteradest jahvatatud peenjahu saaki (Edwards *et al.*, 2008), nisujahu omadusi nagu veeimamisvõime (langemisarv), ja seetõttu taigna kerkimist, on oluline uurida, kas ja millist mõju viljelusviis tärklisele omab (Edwards, 2010).

Nisu endospermist suurima osa moodustab tärklis (ca 70 %), mis koosneb glükoosi polümeeridest - amüloos ja amülopektiin. Tärklise- ja proteiinisaldus on omavahelises seoses, proteiinisalduse kasvuga väheneb tärklisesaldus (Borghet *et al.*, 2005). Tärklisel on oluline roll terise ja jahu kvaliteedile, mõjutades veesidumisvõimet ja elastsust (Pomeranz, 1988). Tärklisegraanulid jagatakse läbimõõdu alusel kolme rühma: A-tüüp, läbimõõduga üle 15 mikromeetri; B-tüüp, läbimõõduga 5-15 mikromeetrit; C-tüüp, läbimõõduga alla 5 mikromeetri. (Bechtel, Wilson, 2003). Väikeste, B-tüübi tärkliseterade veeimamisvõime on parem kui suurtel A-tüübi teradel. Taigna segamise aeg on pikem suurte ning lühem väikeste graanulite puhul. Suurema A-tüübi tärkliseterade arvukuse puhul on nisujahu küpsetusomadused paremad kui B-tüübi kõrge arvukuse puhul (Cauvain, 2003).

Teristest saadav jahusaak sõltub tärkliseterade suurusest (Edwards, 2010), terise kiusisaldusest ja tera kõvadusest (Hrušková, Švec, 2009; Ceseviciene *et al.*, 2012), mis omakorda on suurel määral mõjutatud viljelusviisist (mahe- või tavasüsteem) (Hanell *et al.*, 2012). Peenjahu saagis on oluline kvaliteedinäitaja, kuna peenemad osakesed mõjutavad jahu veesidumisvõimet ning tihedust, mis omakorda mõjutavad küpsetusomadusi ja valmistatavate toodete kvaliteeti. Jahu koostisesse kuuluvad A- ja B-tüübi ning katkised tärkliseterad, proteiin ja rakuseina osad (Pomeranz, 1988).

Nisu kasvatamine maheviljeluses annab tulemuseks oluliselt väiksema saagi võrreldes tavaviljelusega. Seda suurem tähtsus on maheviljelusest kogutud saagi kvaliteedi näitajatel. Eelnev uurimistöö on näidanud, et peenjahu saak on maheviljeluses suurem (Alaru, avaldamata).

Käesoleva töö eesmärk on analüüsida tärkliasterade suurust erinevates viljelusviisides ning leida tärkliasterade suuruse ja osakaalu ning nisu saagikuse, jahusaagi ja langemisarvu omavahelisi seoseid. Lisaks on töö eesmärgiks välja töötada tärkliasterade analüüsimise protokoll, võrreldes omavahel kahte tärkliise eraldamise protokolliga ja kahte tärkliasterade suuruse mõõtmise protokolliga.

Töö hüpotees on, et viljelusviis ja lämmastiku norm mõjutab tärkliasterade suurust ja maheviljelusviisil kasvatatud nisul on tärkliasterade läbimõõt väiksem kui tavaviljelusviisi puhul, põhjustades maheviljelusviisil suurema peenjahu saagi.

Soovin tänada juhendajaid Evelin Loit'i ja Maarika Alaru ning assistenti Sirje Pajumägi, kes aitasid kaasa käesoleva lõputöö valmimisele.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

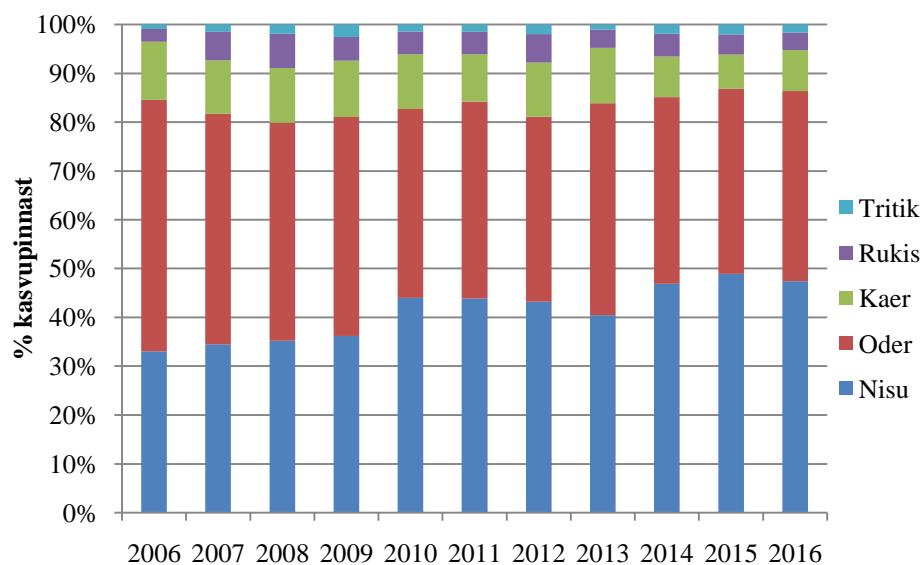
## 1.1. Nisu üldiseloostus

Nisu on üle kogu maailma üks enim kasvatatav ja tarbitav teravili. Samuti omab see olulist rolli maailma kaubanduses. Lisaks sellele, et nisu on üks olulisemaid teravilju, on tegu ka ühe vanima teraviljaga - esimesed andmed nisu kasvatamise kohta pärinevad 7-6. sajandist eKr Ees-Aasiast. Kuna tegemist on ühe esimese kultuuriga, mida toiduks kasvatama hakati, aitas see omakorda kaasa tsivilisatsiooni arengule, kuna võimaldas toitu toota seal, kus elati (Oleson, 1994). Esimesed leiud Eestis pärinevad 11. sajandist muistsete aida jäänuste kaevetest (Lepajõe, 1984). Täna kasvatatakse enim harilikku ehk pehmet nisu (*Triticum aestivum*, *Triticum vulgare*) ja kõva nisu (*Triticum durum*). Nendest on aretatud hulgaliselt teisendeid ja vorme (tali- ja suvinisu) (Edwards, 2010).

Nisu kasvatatakse nii toidu kui ka sööda eesmärgil. Terise kuivainesisaldus on 86%. Terised sisaldavad tärklist (66 %), valke (13 %), kiudaineid, ja toorrasva, tuhka, mineraale ja vitamiine. Toiduks kasutatakse peamiselt nisujahu, mis saadakse teriste jahvatamisel. Jahust valmistatakse saia, leiba, sepikut ja muid küpsetisi, makarone ja nuudleid. Lisaks jahutoodetele valmistatakse nisust ka mannat ja tange (Edwards, 2010). Nisu kasvatatakse nii tava- kui ka maheviljeluses (Mäder *et al.*, 2007).

### 1.1.1. Talinisu kasvatamine Eestis

Nisu olulisust Eestis iseloomustab viimaste aastate kasvupindade ja saagikuse dünaamika (Joonis 1; Lisa 1 - Joonis 1). Kui võrrelda viit Eestis enim kasvatatavat teraviljakultuuri, siis kaera, rukki ja tritikale kasvupinnad ja kogusaagid pigem vähenevad, kuid nisu ja odra kasvupinnad ja kogusaagid suurenevad (Statistikaamet).

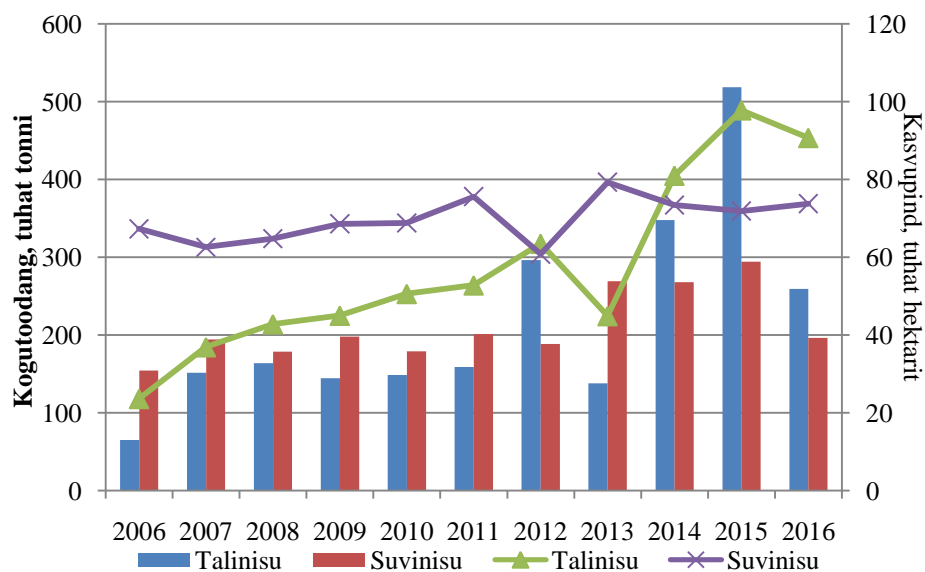


**Joonis 1.** Enamlevinud teraviljade kasvupinna muutus aastatel 2006 kuni 2016 Eestis. Ca 80% teraviljade kasvupinnast moodustavad nisu ja oder (tali- ja suvivormid). Ca 20% teraviljade kasvupinnast kasutatakse kaera, rukki ja tritikale kasvatamiseks. *Allikas:*PM03: Põllukultuuride kasvupind. Statistikaamet, 12.05.2017

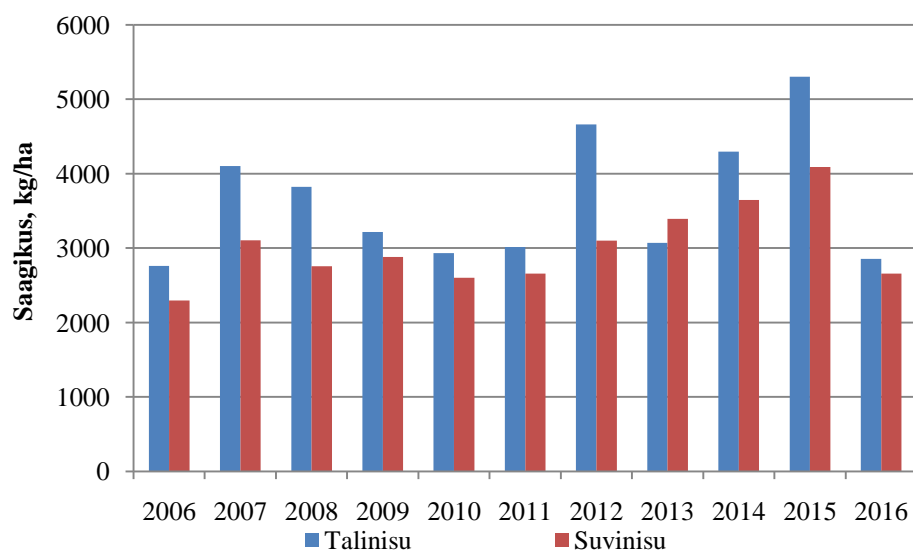
Nisu kasvupind on viimasel kümnel aastal suurenenud, moodustades ligi poole kogu teraviljade kasvupinnast. Selle arvelt on vähenenud odra kasvupind. Sellest hoolimata moodustavad nisu ja oder valdava osa (ca 85 %) kogu teravilja kasvupinnast Eestis. Kaera, rukki ja tritikale kasvupinnad on vähenenud (Joonis 1). Suuri muutusi samal ajal kasvupinnas pole toimunud. Küll on suurenenud nisu kasvupind vaadeldava perioodi jooksul (Joonis 2).

Nisu kogusaak ja saagikus hektari kohta üldjuhul kasvab, kuid võrreldes 2015. aastaga on kogusaak ja saagikus hektari kohta 2016. aastal vähenenud ligi poole võrra (Joonis 3). Suurim keskmine nisaagikus nii suvi- kui talinisu puhul on aastal 2015 (talinisu 5302 kg ha<sup>-1</sup>; suvinisu 4090 kg ha<sup>-1</sup>). Vaadeldava perioodi madalaim nisaagikus on aastal 2006 (talinisu 2763 kg ha<sup>-1</sup>; suvinisu 2296 kg ha<sup>-1</sup>).





**Joonis 2.** Suvi- ja talinisu kogutoodangu ja kasvupinna muutus aastatel 2006 kuni 2016. Allikas: PM04: Põllukultuuride saak ja PM03: Põllukultuuride kasvupind. Statistikaamet, 12.05.2017



**Joonis 3.** Suvi- ja talinisu saagikus aastatel 2006 kuni 2016, kg/ha. Allikas: PM041: Põllukultuuride saagikus. Statistikaamet, 12.05.2017

## 1.2. Nisu tärkliis

Tärkliis on peamine süsivesik nisu endospermis, mis koosneb kahest polüsahhariidi molekulist - amüloosist ja amülopektiinist. Amüloos koosneb 600-3000 glükoosi molekulist, mis moodustavad lineaarse ahela. Amülopektiin koosneb samuti glükoosijääkidest, kuid need moodustavad hargnenud ahela. Amülopektiin sisaldab 6000-60 000 glükoosi molekuli ja hargnemine toimub iga 20-25 ühiku järel (Borghet *et al.*, 2005).

Terise arenemisel tekivad tärkliise poolkristallilised osakesed endospermi, mida kutsutakse tärkliiseteradeks. Tärkliiseterade läbimõõt ja osakaal mõjutab jahu ja sellest saadavate toodete kvaliteeti (Armoniene *et al.*, 2013; Edwards, 2010; Zhang *et al.*, 2010). Tärkliiseterad jagatakse läbimõõdu alusel A-, B ja C-tüüpi. (Edwards, 2010). Keskmise läbimõõduga, ehk B-tüübi graanulid sisaldavad kõige rohkem proteiini (tera pinnal), rasva ja kiu osakesi (Pomeranz, 1988).

Suurema A-tüübi tärkliiseterade arvukuse puhul on nisujahu küpsetusomadused paremad kui B-tüübi kõrge arvukuse puhul. A-tüübi puhul on pätsi kerkimine ja struktuur parem. See võib olla mõjutatud tärkliiseterade koostisest - amüloosi ja amülopektiini suhtest ning molekulide suurustest tärkliise graanulis (Cauvain, 2003; Kihlberg *et al.*, 2004).

Koguseliselt on tärkliises ligikaudu 30% amüloosi ja 70% amülopektiini, kuid need kogused võivad varieeruda sõltuvalt taime liigist, uuritavast taimeorganist ning kasvutingimustest (Martin, Smith, 1995). Tärkliiseteradel koostis on tüübiti erinev. B-tüübi tärkliiseterad (keskmise suurusega tärkliiseterad) sisaldavad vähem amüloosi kui suured, A-tüübi tärkliiseterad (Soh *et al.*, 2006).

Amülopektiini leidub rohkem tärkliisetera pindmistes kihtides, andes tärkliiseterale poolkristallilise struktuuri. Amüloos vastutab tärkliisetera suuruse ja kuju eest. Mida vähem on amüloosi, seda sfäärilisema kujuga on tärkliiseterad. Suurema amüloosi koguse juures on tärkliiseterad ovaalsemad (Murphy, 2011).

### 1.2.1. Tärkliseterade liigitamine

Täisküpsuse saavutanud nisuterises esinevad eri tüüpi tärkliseterad, mis jaotatakse läbimõõdu alusel erinevatesse rühmadesse - A-, B- ja C-tüüp (Ellis *et al.*, 1998; Edwards, 2010; Wilson *et al.*, 2006). Tärkliseteri võib jagada järgmiste parameetrite alusel - A-tüüp, kui läbimõõt on üle 9,8 mikromeetri; B-tüüp, kui läbimõõt on alla 9,8 mikromeetri; C-tüüp, kui läbimõõt on alla 5 mikromeetri (Stoddard, 1998). Zeng *et al.* (2011) on jaganud tärklise kahte fraktsiooni - A-tüüp läbimõõduga üle 9,9 mikromeetri ja B-tüüp läbimõõduga alla 9,9 mikromeetri. Lisaks leidub kirjanduses ka jaotus, mille alusel A-tüübi tärkliseterad on läbimõõduga üle 15 mikromeetri, B-tüübi läbimõõduga 5-15 mikromeetrit ning C-tüübi läbimõõt alla 5 mikromeetri (Edwards, 2010).

### 1.2.2. Tärklise biosüntees

Tärklis sünteesitakse peamiselt taimede lehtedes päeval ajal fotosünteesi tulemusena seotud süsinikust. Vähesel määral toimub tärklise süntees ka meristeemi- ja juuretipu rakkudes. Taimed talletavad tärklise seemnetes, viljades, mugulates ja juurtes. Organellid, milles tärklis sünteesitakse, on plastiidid. Säilitusorganites vastutavad sünteesi eest amüloplastid. Tärklise süntees võib toimuda ka kloro- ja kromoplastides (Ball, Morell, 2003; Martin, Smith, 1995). Nisu õitsemise järel hakkab tärklis tekkima endospermis. Suured A-tüübi tärkliseterad hakkavad tekkima 2-4 päeva pärast õitsemist ja väikesed B-tüübi terad 7-8 päeva peale õitsemist (Edwards, 2010).

Tärklise sünteesil seotakse glükoosi molekulid polümeeriks  $\alpha$ -1,4 ja  $\alpha$ -1,6 glükosiidsidemete abil. Tärklise süntaasi eri isoformid vastutavad amüloosi (lineaarne) ja amülopektiini (harunenud) sünteesi eest. Tärklise hargnemise ensüüm vastutab  $\alpha$ -1,6 sidemete loomise läbi amülopektiini eest (Martin, Smith, 1995).

### 1.2.3. Sordi mõju tärklise tekkele

Tärkliseterade suurst mõjutab nisu liik ja sort. Analüüside tulemusena on leitud, et pehme nisu tärklises on rohkem A-tüübi ja vähem B-tüübi teri, kõva nisu puhul vastupidi -

rohkem leidub B-tüübi teri ja vähem A-tüübi teri (Shevkani *et al.*, 2016). On avastatud ka seda, et väikesed tärkliheterad moodustavad koguarvult kuni 90%, kuid tärkliise kaalust alla 30%. Suured tärkliheterad moodustavad koguarvult ca 10%, kuid kaalult ligi 70% (Edwards, 2010).

#### **1.2.4. Välistegurite mõju tärkliise tekkele**

Ilmastikuteguritest mõjutavad tärkliise teket temperatuur ja niiskus. Madal temperatuur pikendab tera täitumise perioodi, mis omakorda soodustab väikeste B- ja C-tüübi tärkliheterade teket, kuna need tekivad hilisemal kasvuperioodil kui suured A-tüüpi terad. Kõrge temperatuur tera täitumisel kiirendab viljatera valmimist ning limiteerib väikeste tärkliheterade teket - seetõttu on väikeste tärkliheterade osakaal väiksem. Veepuudus tera täitumisel pärsib samuti väikeste tärkliheterade teket, seetõttu väheneb ka nende osakaal tärkliise saagises (Shevkani *et al.*, 2016).

Agrotehnilistest võtetest on tärkliise teket oluliselt mõjutavaks teguriks väetamine. Lämmastikuga väetamisel on täheldatud A-tüübi tärkliise juurdekasvu, väävliga väetamisel B-tüübi juurdekasvu. Endospermi hakkavad tärkliheterad tekkima peale nisu õitsemist ning tekivad kuni tera on saavutanud piimküpsuse. Vaha- ja täisküpsuse faasis toimub A-tüübi tärkliheterade kasvamine. Lämmastiku ja väävliga väetamine soodustab tärkliise teket ning terade suuruse kasvu, samuti mõjutab väetamine proteiinisisaldust (Li *et al.*, 2013).

Kuigi viljelusviisi mõju nisu saagile ja selle kvaliteedile on eelnevalt üsna palju uuritud, puuduvad andmed viljelusviisi mõju kohta tärkliheterade arvukusele, läbimõõdule ja keemilise koostisele.

#### **1.2.4. Tärkliise mõju nisujahu kvaliteedile**

Nisuterade jahvatamise eesmärgiks on eraldada terise endosperm välimistest kestadest ja idust. Sõltuvalt jahvatamise intensiivsusest, võivad tärkliheterad selle protsessi käigus saada kahjustatud. Selle tulemusena lõhutakse ka amülopektiini molekul. Pehme nisu jahvatamisel saadakse üldjuhul rohkem ebaregulaarse kujuga ja väikse diameetriga

osakesi. Need vähendavad jahu voolavust, põhjustades seadmete ummistusi (Evers, Millar, 2002).

Tärglis omab mõju nisujahu langemisarvule, mis näitab  $\alpha$ -amülaasi aktiivsust (tärglist lagundav ensüüm) (Mares, 2008). Mida suurem on  $\alpha$ -amülaasi tase, seda madalam on langemisarv ja halvenevad küpsetusomadused (Edwards, 2010). Parema kvaliteediga nuudlid saab jahust, mis on saadud vähenenud  $\alpha$ -amülaasi aktiivsusega sortidest (kõrgem lanemisarv). Madal langemisarv võib olla põhjustatud tärgliseterade kahjustustest - katkised tärgliseterad alluvad paremini  $\alpha$ -amülaasile (Cauvain, 2003).

Küpsetamisel muutub jahus olev tärglis geeljaks ning moodustab kiulised ahelad, mis puutuvad kokku proteiini poolt moodustatud ahelatega. Elektronmikroskoobiga uurides võib näha, et B-tüübi tärgliseterad ei moodusta gluteeniga ühtset võrgustikku, vaid kleepuvad omavahel kokku. A-tüübi tärgliseterad paisuvad ja moodustavad gluteeniga ühtse komponendi (Edwards, 2010). Samuti mõjutavad jahu omadusi tärgliseterade reageerimine erinevatele temperatuuridele, mis tuleneb tärgliseterade keemilisest koostisest (Goesaert *et al.*, 2005).

Väiksemad ning jahvatamisel kahjustada saanud tärgliseterad suurendavad jahu veeimavusvõimet ehk seda vee kogust, mis on vajalik taigna valmistamiseks. Sellisel juhul pikeneb ka taigna segamise aeg. Suurem veeimamisvõime tuleneb sellest, et väiksemaid tärgliseteri esineb arvuliselt rohkem ning nende eripind on suurem kui A-tüübi graanulitel. Tärgliseterade pinda on võimalik töödelda, mõjutades nii taigna kvaliteeti (Cauvain, 2003; Park *et al.*, 2005).

## 2. MATERJAL JA METOODIKA

Pikaajaline põldkatse mahe- ja tavaviljelusviisi võrdluseks on rajatud 2008. aastal Eesti Maaülikooli taimekasvatuse ja rohumaa viljeluse osakonna Eerika katsepõllule (58°22'N, 26°40'E). Katsepõllu muld on pruun kahkjas (näivleetunud) liivsavimuld (Stagnic Luvisol, WRB 1998 klassifikatsioon), huumushorisondi tuseduseks 27-29 sentimeetrit. Mulla lõimis on liivsavi ja huumuskihi tusedus keskmiselt 30 cm (Reintam, Köster, 2006; Tein *et al.*, 2010). Katsepõllu mulla süsinikusisaldus rajamisaastal on 1,55 %, üldlämmastiku sisaldus 0,14 %, liikuva forfori sisaldus 128,54 mg kg<sup>-1</sup>, liikuva kaaliumi sisaldus 134,01 mg kg<sup>-1</sup>, magneesiumi sisaldus 154,83 mg kg<sup>-1</sup>, kaltsiumi sisaldus 1317,67 mg kg<sup>-1</sup> ja mulla pH<sub>KCl</sub> 5,8. Rajatud katse on viieväljalise külvikorraga, kultuurideks oder punase ristiku allakülviga (*Hordeum vulgare* L. ja *Trifolium pratense* L.), punane ristik (*Trifolium praense* L.), talinisu (*Triticum aestivum* L.), hernes (*Pisum sativum* L.) ja kartul (*Solanum tuberosum* L.). Esimene rotatsioon lõppes aastal 2012.

### 2.1. Põldkatse metoodika

Tavaviljelusviisil on väetusvariante neli - N<sub>0</sub> (kontroll, N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>), N<sub>50</sub> (N<sub>50</sub>P<sub>25</sub>K<sub>95</sub>), N<sub>100</sub> (N<sub>100</sub>P<sub>25</sub>K<sub>95</sub>) ja N<sub>150</sub> (N<sub>150</sub>P<sub>25</sub>K<sub>95</sub>). Maheviljelusviisil kolm väetusvarianti - M<sub>0</sub> (mahe, talviseid kattekultuure ei kasvatata), M<sub>1</sub> (mahe, talvise kattekultuuriga) ja M<sub>2</sub> (mahe, talvine kattekultuur ja komposteeritud veisesõnnik). Mõlema viljelusviisi puhul on katsel neli kordust. Katsete kordused ning variandid on üksteise kõrval ilma eraldusribadeta. Viljelusviisid on üksteisest eraldatud 18 meetri laiuse rohuribaga, et vältida mineraalväetiste ja sünteetiliste taimekaitsevahendite sattumist tavasüsteemist mahesüsteemi. Katselapi pindala on 60 ruutmeetrit. Katses rakendatakse süstemaatilist plokksüsteemi neljas korduses (Tabel 1, katseskeem).

Mõlema viljelusviisi puhul kasutatakse liblikõielisi kultuure õhulämmastiku sidumiseks. Tavasüsteemis kasutatakse lisaks mineraalväetiseid - lämmastikuallikana ammooniumnitraat (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) ning P-K kompleksväetis. N<sub>0</sub> on kontrollvariant ehk mineraalväetist ei anta. N<sub>50</sub> variant saab lämmastikväetist 50 kg ha<sup>-1</sup>, N<sub>100</sub> ja N<sub>150</sub> vastavalt

100 ja 150 kg ha<sup>-1</sup>. Et vältida suurte väetisekoguste (N<sub>150</sub>) juures liigset toitainete leostumist, antakse väetist kahes jaos - 100+50 kg ha<sup>-1</sup>. Sügisel antakse kompleksväetisega variantidele N<sub>50</sub>, N<sub>100</sub> ja N<sub>150</sub> lisaks 5 kg ha<sup>-1</sup> lämmastikku, 25 kg ha<sup>-1</sup> fosforit ning 95 kg ha<sup>-1</sup> kaaliumit. Maheüsteemis kasutatakse talinisu kevadiseks pealtväetamiseks veisesõnnikut 10 t ha<sup>-1</sup>, millega antakse lämmastikku 68 kg ha<sup>-1</sup>, fosforit 16 kg ha<sup>-1</sup> ja kaaliumit 23 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabel 1.** Katseskeem. Kasvatatavad kultuurid (külvikord) on toodud esimeses veerus, iga rida iseloomustab ühte katses kasvatatavat kultuuri ja selle väetusvariante (veerud)

Oder p.ristiku ak	N <sub>0</sub>	N <sub>50</sub>	N <sub>100</sub>	N <sub>150</sub>	ROHURIBA	Mahe 0	Mahe 1	Mahe 2
Punane ristik	N <sub>0</sub>	N <sub>50</sub>	N <sub>100</sub>	N <sub>150</sub>		Mahe 0	Mahe 1	Mahe 2
Talinisu	N <sub>0</sub>	N <sub>50</sub>	N <sub>100</sub>	N <sub>150</sub>		Mahe 0	Mahe 1	Mahe 2
Hernes	N <sub>0</sub>	N <sub>50</sub>	N <sub>100</sub>	N <sub>150</sub>		Mahe 0	Mahe 1	Mahe 2
Kartul	N <sub>0</sub>	N <sub>50</sub>	N <sub>100</sub>	N <sub>150</sub>		Mahe 0	Mahe 1	Mahe 2

Skeem kehtib ühe korduse kohta. Katsepõllul asetsevad kordused üksteise kõrval, mahe- ja tavasüsteemi eraldab üksteisest 18 meetri laiune rohuriba.

### 2.1.1. Tehtud tööd

Talinisu eelkultuuriks on punane ristik, mis viiakse mulda kündmise teel septembri alguses. Talinisu külvati 14. september 2015, kuid lindude poolt tekitatud kahju tõttu külvati kõik mahe variandid ning tavaviljeluse kaks varianti (N<sub>100</sub> ja N<sub>150</sub>) uuesti. Esimene väetamine toimus oktoobri alguses, kasutati kompleksväetist YaraMila Cropcare 3:11:24, 500 kg ha<sup>-1</sup>. Antud kogus sisaldas lämmastikku 15 kg ha<sup>-1</sup>, fosforit 25 kg ha<sup>-1</sup> ja kaaliumit 95 kg ha<sup>-1</sup>. Lisaks kompleksväetisele kasutati lämmastikväetist AN 34,4. Seda anti 15 kg ha<sup>-1</sup>, millega anti ligikaudu 5 kg lämmastikku. Sügisel sai talinisu kokku 20 kg lämmastikku, 25 kg fosforit ja 95 kg kaaliumit hektari kohta (Tabel 2).

2016. aasta esimeseks harimiseks oli talinisu äestamine. Seejärel pritsiti tavaviljeluse variante biostimulaatoriga Aminocat 200. Keemiliseks umbrohutõrjeks kasutati preparaati Sekator OD, kulunormiga 150 ml ha<sup>-1</sup>. Esimene tavaviljeluse variantide pealtväetamine

toimus mai alguses lämmastikväetisega AN 34,4. Vastavalt väetusfoonile said variandid 50 kg ja 100 kg ha<sup>-1</sup>. N<sub>150</sub> variandi teine pealtväetamine toimus juuni alguses ning koguseks oli 50 kg ha<sup>-1</sup> AN 34,4. Talinisu koristati täisküpsusfaasis augusti lõpus (hiline koristus sademeterohke suve tõttu) (Tabel 2).

**Tabel 2.** Tehtud tööd aastatel 2014-2016; talinisu kasvuaastatel 2015 ja 2016

	Kuupäev	Tehtud töö	Kasutatud vahendid	Kogus, kulunorm	ühik
2014	20. august	Kündmine	-	-	-
	29. august	Kultiveerimine	-	-	-
	15. september	Kultiveerimine Talinisu külv Külvi rullimine	Sort "Fredis"	450	s/m <sup>2</sup>
	18. september	Väetamine	YaraMila Cropcare 3:11:24 AN 34,4	500 15	kg/ha
2015	20. aprill	Väetamine	AN 34,4	50; 100	kg/ha
	24. aprill	Äestamine	-	-	-
	5. mai	Äestamine Väetamine (mahe 2)	Sönnik	10	t/ha
	8. mai	Umbrohutõrje, keemiline	Sekator OD	150	ml/ha
	28. mai	Haigustõrje, kasvuregulaator	Allegro Super CCC	0,5 0,8	l/ha
	6. juuni	Väetamine	AN 34,4	50	kg/ha
	12. august	Koristus	"Fredis"	3,4-8,2	t/ha
	11. september	freesimine	-	-	-
	14. september	Talinisu külv	sort "Fredis"	450	s/m <sup>2</sup>
	15. september	Külvi rullimine	-	-	-
	28. september	Talinisu ümberkülv	Sort "Fredis"	450	s/m <sup>2</sup>
	29. september	Külvi rullimine	-	-	-
	2. oktoober	Väetamine	YaraMila Cropcare 3:11:24 AN 34,4	500 15	kg/ha
					kg/ha
2016	26. aprill	äestamine	-	-	-
	2. mai	Pritsimine biostimulaatoriga	Aminocat	200	ml/ha
	3. mai	Umbrohutõrje, keemiline	Sekator OD	150	ml/ha
	6. mai	Väetamine	AN 34,4	50; 100	
	6. juuni	Väetamine	AN 34,4	50	kg/ha
	26. august	Koristus	"Fredis"	1,3-2,9	t/ha



## **2.2. Keemilised analüüsid**

Üldlämmastiku sisaldus talinisu teradest ja komposteerinud sõnnikust määratakse põletamisel VarioMAX CNS elementanalüüseriga (ELEMENTAR, Saksamaa; Methods of Soil and Plant Analysis, 1986). Märghastamist väävelhappega kasutatakse sõnniku üldfosfori- ja üldkaaliumisisalduse määramisel. Langemisarvu määramine baseerub  $\alpha$ -amülaasi aktiivsuse määramisel Hagberg-Perten'i meetodil (ICC 107/1, Falling Number 1500; Perten Instruments, Stockholm, Rootsi) ja gluteeni indeks määratakse vastavalt Perten'ile (ICC 155; Glutomatic 2100, Centrifuge 2015; Perten Instruments).

Kogu- ja peenjahu saagi ehk jahu väljatuleku hulga määramiseks võetakse 1000 g nisuteri iga katsevariandi kohta, mis jahvatatakse hambuliste rullidega laborveskiga Земля, mille rullide vahekaugus on 3 mm. Pärast jahvatamist sõelutakse proovid nelja fraktsiooni: kestad (jahuosakeste suurus üle 800  $\mu\text{m}$ ), kliid (jahuosakeste suurus üle 380  $\mu\text{m}$ ), jämejahu (jahuosakeste suurus 220–380  $\mu\text{m}$ ) ja peenjahu (jahuosakeste suurus all 220  $\mu\text{m}$ ). Kogu jahusaak saadakse jäme- ja peenjahu liitmise teel (jahuosakeste suurus 1–380  $\mu\text{m}$ ).

## **2.3. Tärklise eraldamine**

Viljelusviiside võrdluskatsest kogutud terasaagist tärklise eraldamiseks kasutatakse käesolevas töös kahte erinevat meetodit - otse terast eraldamise protokoll ja gluteeniindeksi määramise elueerimispuhvril tärklise eraldamise protokoll. Meetodid erinevad üksteisest vaid tärklise eraldamise viisi poolest. Proovide ettevalmistamiseks, värvimiseks ja pildistamiseks kasutatakse samu võtteid.

### **2.3.1. Otse teradest tärklise eemaldamine**

Iga väetusvariandi terasaagist võetakse kahes korduses keskmiselt 100 mg materjali ja tärklise eraldamiseks järgiti standardprotokoll (Stoddard *et al* 1999). Nisuteradele lisatakse 1 ml 2%-st NaCl lahust ja inkubeeritakse toatemperatuuril ligikaudu 24 tundi. Seejärel nisuterad purustatakse plastikust uhmrinuiaga. Piimjas, tärklist sisaldav soolalahus eraldatakse gluteenist ja seemnekesta tükkidest. Eraldamist korratakse kolm korda 0,5 ml

NaCl lahusega. Eraldatud tärklis sisaldav soolalahus filtreeritakse läbi filterkanga (läbimõõduga 200 µm), et eraldada suuremad teraosised, eelkõige seemnekesta osad. Saadud lahuseid tseentrifuugitakse 2 minutit 13 000 rpm juures ning pestakse kaks korda 1,0 ml destilleeritud veega. Seejärel lisatakse tärklisele 1,0 ml destilleeritud vett ning proovid säilitatakse -20 °C juures kuni mõõtmiseni.

### **2.3.2. Tärklise eraldamine gluteeniindeksi määramisega samaaegselt**

Gluteeniindeksi määramine toimub vastavalt Pertenile (ICC 155; Glutomatic 2100, Centrifuge 2015; Perten Instruments) lähtudes tootja protokollist. 10 grammi jahu elueeritakse 2 % NaCl lahusega. Gluteeni kasutatakse edasiseks määramiseks, aga elueerimispuhver, mis sisaldab tärklis, jääb üle. Iga väetusvariandi terasaagist tehakse käesolevas töös neli kordust. Iga proovi elueerimispuhvrast eraldatakse kaks proovi (1,0 ml), mis tseentrifuugitakse 2 minutit 13 000 rpm juures. Tärklis pestakse 2 korda 1,0 ml destilleeritud veega ja säilitatakse 1,0 ml destilleeritud vees -20 °C juures kuni mõõtmiseni.

## **2.4. Tärklisegraanulite mõõtmine ja analüüsimine**

Tärkliseterade suurus määratakse kahel meetodil: käsitsi mikroskoobi all ja laseriga Malvern Mastersizer Hydro 3000. Käsitsi määramisel tehakse digitaalpildid, mida mõõdetakse programmiga ImageJ ning mõõtmistulemused märgitakse MS Office Exceli töölehele. Laseri mõõtmistulemused salvestab arvuti tarkvara automaatselt.

### **2.4.1. Tärkliseterade mõõtmine ja analüüsimine käsitsi**

Külmutatud tärkliseproovid sulatatakse, loksutatakse 10 sekundit ning proovist asetatakse 10 µl mikroskoobi alusklaasile. Proovile lisatakse üks tilk 5%-st joodilahust, et tärkliseterad värvuksid ja oleksid mikroskoobi all selgesti näha, üksteisest eraldatavad ja mõõdetavad. Tärkliseterade läbimõõdu määramiseks kasutatakse mikroskoobi (Nikon

Eclipse E200) 40x suurendust. Igast tärkliiseproovi preparaadist tehakse 4-6 digifotot (kaameraga Nikon DS-Fi 1), sõltuvalt tärkliiseterade esinemisele (Lisa 2). Analüüsitavaid digipilte kokku 420.

Pildistatakse alusklaasi vasakust servast paremale liikudes, et vältida tärkliiseterade kahekordset kaardistamist. Fotode tegemiseks ja salvestamiseks kasutatakse programmi NIS-Elements BR. Läbimõõdu määramiseks kasutatakse programmi ImageJ, mis kalibreeritakse vastavalt kasutatavale mikroskoobile. Tärkliisegraanulite läbimõõtu määratakse manuaalselt, mõõtes mööda pikemat diameetrit (sest tärkliiseterad on elliptilise kujuga). Mõõdistatakse objekte, mis on joodiga värvimise tulemusena värvunud sinakas-violetseks, on selgesti eristatavad teistest teradest ning terved (pildi servadest ja nurkadest poolikult näha olevaid graanuleid ei mõõdetata). Kokku 35 326 mõõdetud tera.

#### **2.4.2. Tärkliiseterade mõõtmine ja analüüsimine masinaga**

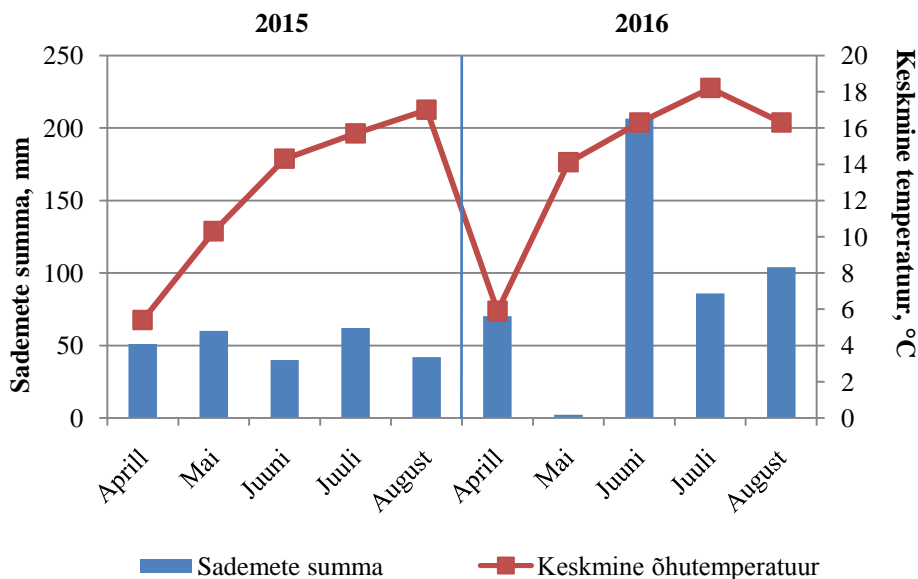
Tärkliiseterade mõõtmiseks kasutatakse käesolevas töös Malvern Mastersizer Hydro 3000 aparaati, lähtudes tootja protokollile. Masin seadistatakse ära tundma sfäärilisi valgeid osakesi. Igast ettevalmistatud proovist lisatakse 1,0 ml mõõtmisanumasse, mis on täidetud destilleeritud veega. Iga proovi puhul teostatakse viis mõõtmist. Masina tarkvara grupeerib tärkliiseterad läbimõõdu järgi, moodustades erineva läbimõõduga terade osakaalude grupid.

### **2.5. Ilmastik**

Taliniisu kasvuperiood kestab septembrist augustini. Joonisel 4 on välja toodud kasvuperioodil sademete summa ning keskmine õhutemperatuur kuude kaupa. Vaadeldaval perioodil on sademete jaotumine väga ebaühtlane - mais on sademete summa väga madal (vastavalt 8,4 ja 2,1 mm). Seevastu suvekuudel on sademeid palju. Kõige sademeterohkem kuu on juuni.

Temperatuurikõver vaadeldaval perioodil erilisi kõikumisi ei tee - keskmine temperatuur langeb kuni jaanuarini, veebruaris on soojem ning märtsis toimub keskmise temperatuuri väike langus. Edasi toimub temperatuuritõus kuni juulini, seejärel jälle langeb.

Kasvuperioodi kõige külmem kuu on jaanuar (keskmine temperatuur  $-9,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ning kõige soojem juuli (keskmine temperatuur  $18,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).



**Joonis 4.** Sademete summa ja kuude keskmised õhutemperatuurid talinisu kasvuperioodidel (2015-2016). *Andmed: Riigi Ilmateenistus, 24.04.2017*  
Vertikaaljoon joonisel tähistab piiri aastate 2015 (joonest vasakul) ja 2016 (joonest paremal) andmeid.

## 2.6. Andmeanalüüs

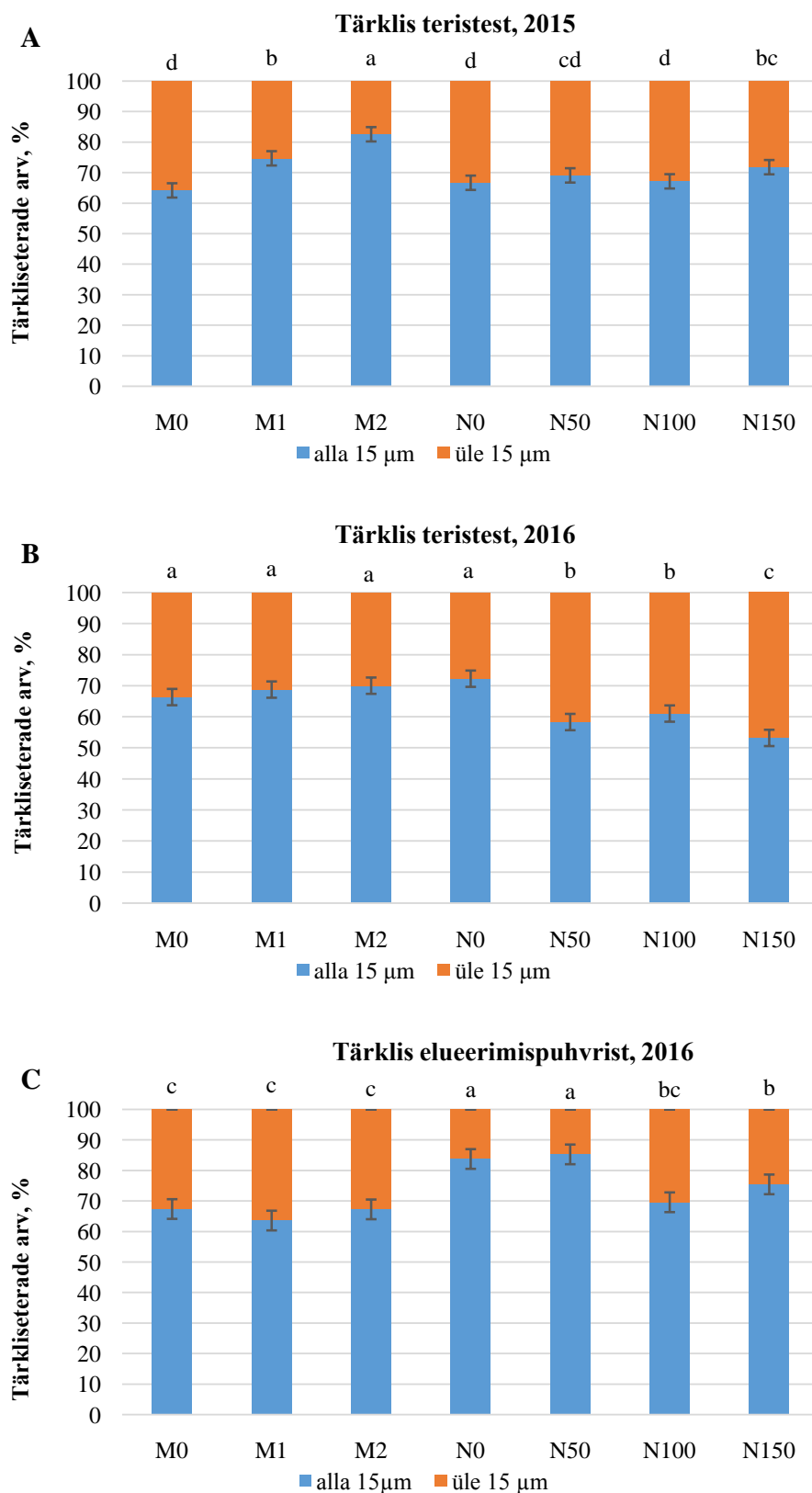
Nisu saagikus ja kvaliteedinäitajad ning tärgliseterade läbimõõdud koondati programmi MS Office Excel töölehele. Andmete analüüs viidi läbi programmiga MS Office Excel ANOVA. Mõõteaparaadiga Malvern Mastersizer Hydro 3000 saadud tulemused koondati samuti MS Office töölehele ning analüüsiti programmiga MS Office Excel ANOVA. Andmeanalüüsi tulemuste paremaks kirjeldamiseks ja tõlgendamiseks koostati erinevaid jooniseid ja graafikuid.

### **3. TULEMUSED**

Nisuteristest tärkliasterade eraldamiseks kasutatakse antud töös kahte meetodit - teristest otse tärkliise eraldamist ehk kolme tera meetodit ning gluteeniindeksi määramise elueerimispuhvrist tärkliise eraldamist. Tärkliasterade loendamiseks ja mõõtmiseks kasutatakse käsitsi mõõtmist ja mõõteaparaati Malvern Mastersizer Hydro 3000. Tärkliasterade proportsionaalne jagunemine läbimõõdu alusel leitakse kolme tera meetodil ja gluteeni jääkveest, keskmised diameetrid leitakse kolme tera meetodil määratud ja mõõdetud tärkliisest.

#### **3.1. Tärkliasterade proportsionaalne arvukus**

Dispersioonanalüüsist selgub, et uuritud faktoritest (katseaasta ilmastik ja väetusvariant) mõjutab usutaval määral tärkliasterade arvukust ainult katseaasta ilmastik (24 % ulatuses). Selgub, et 2015. aastal (Joonis 5 A) on tärkliise fraktsioonide varieeruvus väetusvariantide kaupa suurem kui 2016.aastal (Joonis 5 B). Samuti selgub see, et 2015. aastal on A-tüübi (läbimõõt üle 15 µm)tärkliasterade proportsionaalne arvukus mahesüsteemis 5-16% võrra ja tavasüsteemis 6-44% võrra väiksem ja B-tüübi (läbimõõt alla 15µm) tärkliasterade proportsionaalne arvukus mahesüsteemis 6-13% võrra ning tavasüsteemis 6-19% võrrasuurem kui 2016. aastal. Gluteeniindeksi elueerimispuhvrist analüüsitud tärkliasterade proportsionaalne jagunemine põhineb 2016. aasta andmetel (Joonis 5 C). Sel meetodil määratud B-tüübi (alla 15 µm läbimõõduga) tärkliasterade arvukus oli mahesüsteemi tulemustega statistilises mõttes sama, kuid tavasüsteemist saadud tulemused olid 9-27% võrra suuremad kui kolme tera meetodil määratud tärkliises.



**Joonis 5.** Tärkliseterade jagunemine fraktsioonidesse B (alla 15µm) ja A (üle 15µm) 2015-2016, määratuna kolme tera meetodil (A, B) ja gluteeni jääkveest (C)  
M0 - mahe kontroll; M1 - vahekultuur; M3 - sõnnik+vahekultuur; N0, N50, N100, N150 - min.lämmastik kogused - 0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>; erinevad tähed (a, b, c) tähistavad usutavaid erinevusi; p < 0,05

2015. aastal varieerub A-tüübi tärgliseterade proportsionaalne arvukus vahemikus 17,4-35,8%. B-tüübi tärgliseterade arvukus jääb vahemikku 64,2-82,6%. Maheviljelusviisil esineb suurim A-tüübi ja väiksem B-tüübi osakaal väetusvariandis M0 (35,8 ja 64,2 %). A-tüübi väiksem ja suurim osakaal on variandis M2 (17, ja 82,6 %). Tavaviljelusviisil on suurim A-tüübi ja väiksem B-tüübi osakaal variandis N0 (33,3 ja 66,7 %) , A-tüübi väiksem ja B-tüübi suurim osakaal variandis N150 (28,2 ja 71,8 %). Maheviljeluse variandid on üksteisest usutavalt erinevad, samuti on usutavalt erinevad tavaviljelusvariantidest N50, N100 ja N150. Tavaviljelusvariandid N0 ja N100 on usutavalt erinevad variantidest N50 ja N150 (Joonis 5 A).

2016. aastal (Joonis 5 B) jääb A-tüübi tärgliseterade arvukus vahemikku 29,9-46,8 %. B-tüübi tärglise arvukus jääb vahemikku 53,2-70,1 %. Maheviljelusviisil on suurim A-tüübi ja vähim B-tüübi osakaal variandis M0 (33,6 ja 66,4 %), väiksem A-tüübi ja suurim B - tüübi osakaal variandis M2 (29,9 ja 70,1 %). Tavaviljelusviisi variandis N150 on suurim A-tüübi ja väiksem B-tüübi osatähtsus (46,8 ja 53,2 %). Variandi N0 puhul on väiksem A-tüübi ja suurim B-tüübi osatähtsus (27,7 ja 72,3 %). Maheviljelusviisi väetusvariandid ja tavaviljeluse variant N0 on usutavalt erinevad tavaviljeluse variantidest N50, N100 ja N150 (Joonis 5 B).

Gluteeniindeksi määramise jääkveest mõõdetud tärgliseteradest moodustab A-tüüp vahemikku 14,7-36,4 %. B-tüübi tärgliseterade arvukus jääb vahemikku 63,6-85,3 %. Suurim A-tüübi ja vähim B-tüübi tärgliseterade arvukus on väetusvariandi M1 juures (36,4 ja 63,4 %). Vähim A-tüübi ja suurim B-tüübi tärgliseterade arvukus on väetusvariandi N50 juures (14,7 ja 85,3 %). Antud meetodi puhul on viljelusviisid usutavalt erinevad, tavaviljeluse väetusvariandid N0 ja N50 on usutavalt erinevad ülejäänud väetusvariantidest (Joonis 5 C).

Tähelepanu tasub juhtida sellele, et jääkveest loendatud tärgliseterade arvukus on kolme tera meetodil loendatud tärgliseterade arvukusest tunduvalt väiksem - võrreldes 2015 aastaga 1814 võrra ja 2016 aastaga 950 võrra väiksem (Tabel 3 A). Väetusvariantide keskmine tärgliseterade läbimõõt on üldjuhul väiksem gluteeniindeksi määramise jääkveest loendatud tärglise puhul, v.a variantide M1 ja M2 puhul (Tabel 3 B). Arvuliselt esineb tavaviljelusesjääkveest eraldatud tärglises väiksema diameetriga tärgliseteri rohkem (arvukus, %) kui kolme tera määramise meetodil (Tabel 4 A, B) - sellele viitab ka väiksem keskmine tärgliseterade suurus (Tabel 3 B).

**Tabel 3.** Aastate 2015 ja 2016 erinevate meetoditega määratud tärkliasterade arvukus ja keskmised läbimõõdud väetusvariantide kohta ( $\pm$ SE)

**A. Tärkliasterade arvukus (tk 1 tilga lahuse kohta)**

Aasta	Meetod	M0	M1	M2	N0	N50	N100	N150	KOKKU
2015	2x3 tera	1990	1579	1432	2284	2058	1134	2191	12668
2016	2x3 tera	2136	2195	1436	1281	1318	1706	1732	11804
2016	Jääkvesi	1386	1550	1641	1572	1536	1714	1455	10854

**B. Tärkliasterade keskmine läbimõõt ( $\mu$ m)**

Aasta	Meetod	M0	M1	M2	N0	N50	N100	N150	KESKM
2015	2x3 tera	17,16	15,15	13,09	17,25	16,19	16,99	15,75	15,9 $\pm$ 0,56
2016	2x3 tera	18,07	16,8	17,04	15,99	19,71	18,35	20,01	18,0 $\pm$ 0,57
2016	Jääkvesi	17,09	17,85	16,13	12,32	11,26	15,23	13,61	14,8 $\pm$ 0,93

Meetod 2x3 tera iseloomustab nisu teradest (kolmest terast) otse tärkliise eraldamist kahes korduses. Jääkvesi iseloomustab gluteeniindeksi määramise elueerimispuhvrist eraldatud tärklist. M0 - mahe kontroll; M1 - vahekultuur; M3 - sõnnik+vahekultuur; N0, N50, N100, N150 - min.lämmastik kogused - 0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>

**Tabel 4.** Tärkliasterade (A- ja B-tüüp) arvukused viljelusviiside keskmisena erinevatel tärkliise eraldusmeetoditel ( $\pm$ SE)

**A. Jääkvesi**

Diameeter	Mahe keskmine	Tava keskmine
<15 $\mu$ m	66,1 $\pm$ 1,24	78,5 $\pm$ 3,68
>15 $\mu$ m	33,9 $\pm$ 1,24	21,5 $\pm$ 3,68

**B. Kolme tera meetod**

Diameeter	Mahe keskmine	Tava keskmine
<15 $\mu$ m	68,4 $\pm$ 1,08	61,2 $\pm$ 4,03
>15 $\mu$ m	31,6 $\pm$ 1,08	38,8 $\pm$ 4,03

< 15  $\mu$ m - B-tüübi tärkliasterade keskmine proportsionaalne arvukus 2016. aastal mahe- ja tavaviljeluses, väetusvariantide keskmisena. > 15  $\mu$ m - A- tüübi tärkliasterade keskmine proportsionaalne arvukus 2016. aastal, väetusvariantide keskmisena

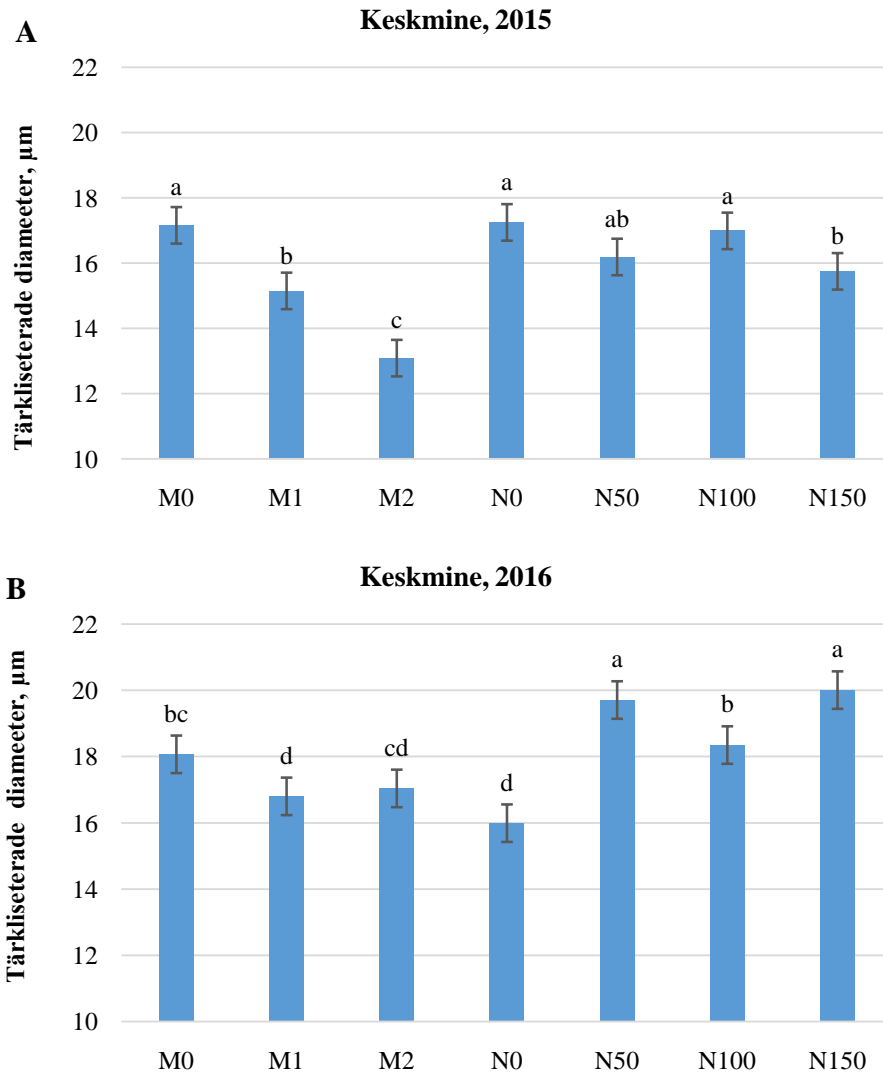
### 3.2. Tärkliasterade keskmised läbimõõdud

Dispersioonanalüüsist selgub, et uuritavatest faktoritest mõjutab ilmastik A-tüübi tärkliasterade läbimõõtu (38 %) ja B-tüübi tärkliasterade läbimõõtu (60%). Väetusvariandi mõju tärkliasterade diameetrile pole usutav. A- ja B-tüübi (kõik kokku) tärkliasterade keskmised läbimõõdud on suuremad aastal 2016 ning väiksemad aastal 2015.



Kõigi tärklieterade (A + B tüüp) keskmine läbimõõt 2015 aastal jääb vahemikku 13,2-17,3  $\mu\text{m}$  (Joonis 6 A). Maheviljeluse suurim keskmine läbimõõt on variandis M0 (17,2  $\mu\text{m}$ ) ning väikseim variandis M2 (13,1  $\mu\text{m}$ ). Tavaviljeluse suurim keskmine diameeter on variandis N0 (17,3  $\mu\text{m}$ ) ja väikseim variandis N150 (15,8  $\mu\text{m}$ ). Maheviljelusviisi väetusvariandid on üksteisest usutavalt erinevad, tavaviljeluse väetusvariandid N0, N50 ja N100 on usutavalt erinevad variandist N150. Variandid M1 ja M2 on usutavalt erinevad tavaviljelusviiside väetusvariantidest. Võib öelda, et viljelusviisid on usutavalt erinevad.

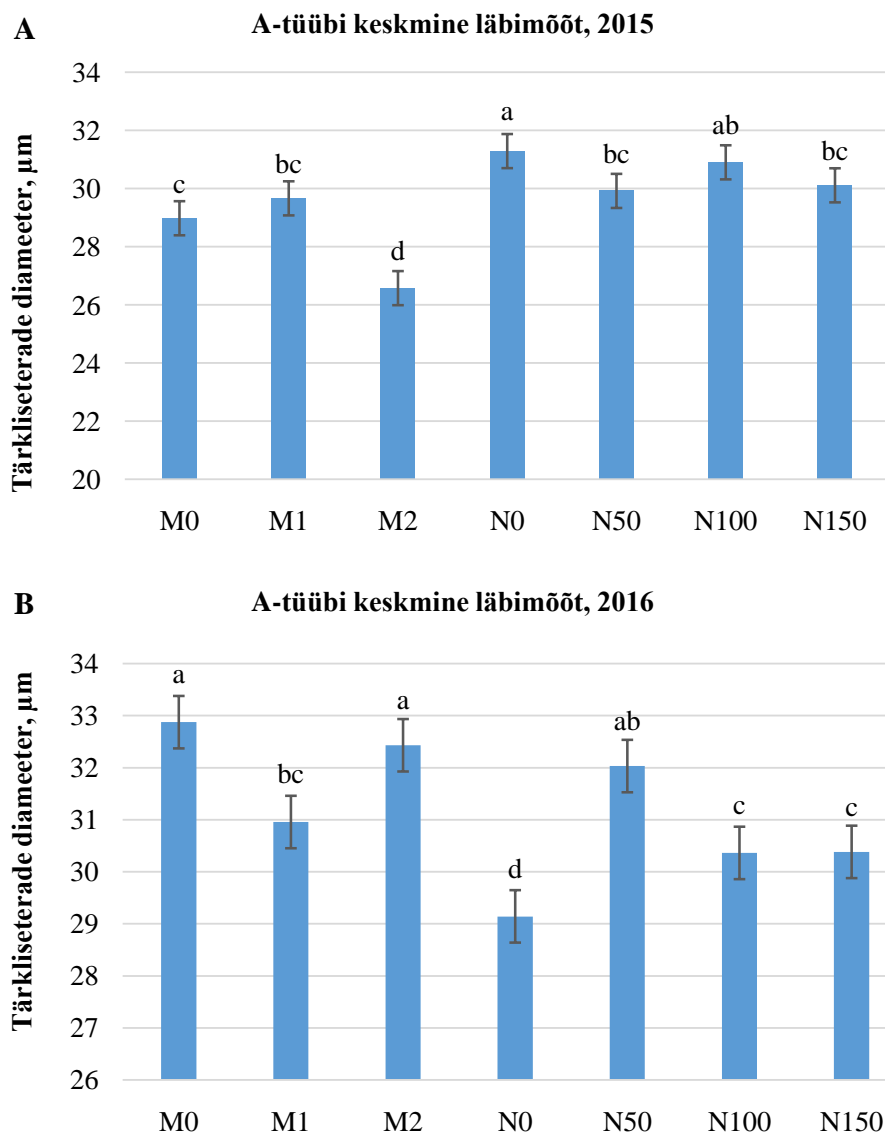
Tärkliseterade keskmine läbimõõt 2016. aastal jääb vahemikku 15,9-20,0  $\mu\text{m}$  (Joonis 6 B). Maheviljeluse keskmine suurim diameeter on variandis M0 (18,1  $\mu\text{m}$ ) ja väikseim keskmine variandis M1 (16,8  $\mu\text{m}$ ). Tavaviljelusviisi suurim keskmine läbimõõt on variandis N150 (20,0  $\mu\text{m}$ ) ja vähim keskmine läbimõõt variandis N0 (16,0  $\mu\text{m}$ ). Viljelusviisid on omavahel usutavalt erinevad. Maheviljeluse variandid M1 ja M2 on usutavalt erinevad variandist M0. Tavaviljelusvariandid N50 ja N150 on usutavalt erinevad variantidest N0 ja N100. Suurim keskmine diameeter on variandi N150 juures ning vähim N0 juures. A+B tüüpi tärklieterade keskmine läbimõõt variantide keskmisena on aastatel 2015 ja 2016 vastavalt  $15,9 \pm 0,56$  ja  $18,0 \pm 0,57$   $\mu\text{m}$ .



**Joonis 6.** Kõigi mõõdetud tärgliseterade diameetrid 2015 ja 2016 aastal väetusvariantide keskmisena aastatel 2015 (A) ja 2016 (B)

M0 - mahe kontroll; M1 - vahekultuur; M3 - sõnnik+vahekultuur; N0, N50, N100, N150 - min.lämmastik kogused 0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>; erinevad tähed (a, b, c, d) tähistavad usutavaid erinevusi;  $p < 0,05$

Aastal 2015 on A-tüübi keskmised läbimõõdud vahemikus 26,6-31,3 µm (Joonis 7 A). Maheviljeluses on suurim diameeter variandis M1 (29,7 µm) ning väikseim variandis M2 (26,6 µm). Tavaviljeluse suurim diameeter on variandis N0 (31,3 µm) ja väikseim variandis N50 (29,9 µm). Maheviljeluse variandid on üksteisest usutavalt erinevad, tavaviljeluse N0 ja N100 on usutavalt erinevad variantidest N50 ja N150. Viljelusviisid on usutavalt erinevad.



**Joonis 7.** A-tüübi tärgliseterade (diameeter > 15 µm) läbimõõt väetusvariantide keskmisena aastatel 2015 (A) ja 2016 (B)

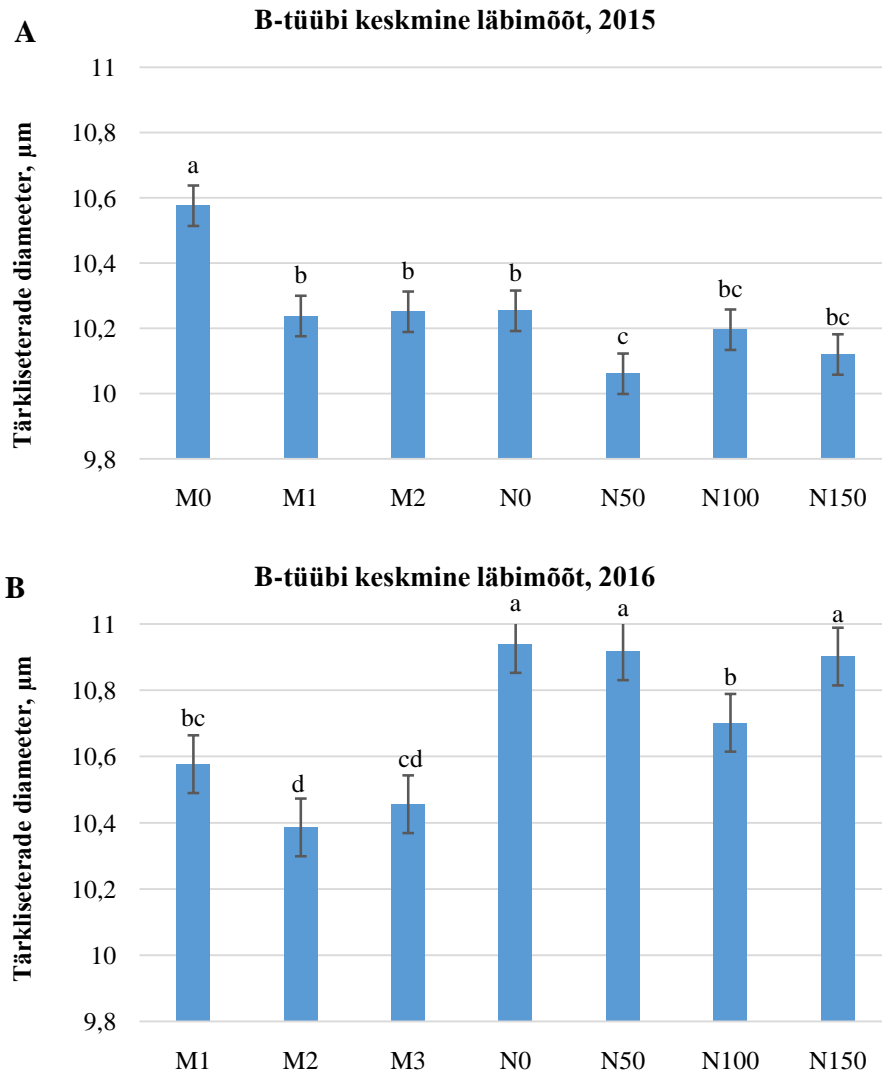
M0 - mahe kontroll; M1 - vahekultuur; M3 - sõnnik+vahekultuur; N0, N50, N100, N150 - min.lämmastik kogused 0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>; erinevad tähed (a, b, c) tähistavad usutavaid erinevusi,  $p < 0,05$

2016. aastal on A-tüübi keskmised läbimõõdud vahemikus 29,1-32,9 µm (Joonis 7 B). Maheviljeluse suurim keskmine läbimõõt on M0 variandis (32,9 µm) ja väikseim läbimõõt variandis M1 (30,9 µm). Tavaviljeluse suurim keskmine läbimõõt on variandis N50 (32,0 µm) ja väikseim keskmine läbimõõt variandis N0 (29,1 µm). Maheviljeluse variandid M0 ja M2 on usutavalt erinevad variantidest M1, N0, N100 ja N150. N0 ja N50 on usutavalt erinevad variantidest N100 ja N150.

B-tüübi tärgliseterade keskmine läbimõõt aastal 2015 on 10,1-10,5  $\mu\text{m}$  (Joonis 8 A). Maheviljeluse suurim keskmine läbimõõt on variandis M0 (10,5  $\mu\text{m}$ ) ja väiksem keskmine läbimõõt variandis M1 (10,2  $\mu\text{m}$ ). Tavaviljeluse suurim keskmine läbimõõt on variandis N0 (10,3  $\mu\text{m}$ ) ning väikseim keskmine diameeter variandis N50 (10,1  $\mu\text{m}$ ). Väetusvariantide vahel esineb usutavaid erinevuseid (M0 ja M1, M2; N0 ja N50).

B-tüübi tärgliseterade keskmine läbimõõt aastal 2016 on 10,3-10,9  $\mu\text{m}$  (Joonis 8 B). Maheviljeluse suurim keskmine läbimõõt on variandis M0 (10,6  $\mu\text{m}$ ) ning väikseim keskmine diameeter variandis M2 (10,4  $\mu\text{m}$ ). Tavaviljeluse suurim keskmine läbimõõt on variandis N0 (10,9  $\mu\text{m}$ ) ja väikseim keskmine diameeter variandis N100 (10,7  $\mu\text{m}$ ). Variantide vahel esineb usutavaid erinevuseid (M0 ja M1, M2; N100 ja N0, N50, N150). Viljelusviisid on usutavalt erinevad.

Tulemustest selgub, et nii 2015 kui ka 2016 aastal ei ole võimalik välja tuua kindlat seaduspära viljelusviisi ja tärgliseterade läbimõõdu kohta. Kord esinevad suurimad keskmised läbimõõdud maheviljeluses, kord tavaviljeluses (Tabel 5, Tabel 6). 2016. aastal on tärgliseterade keskmine läbimõõt nii tüübi kui ka kogu tärglise kohta suurem kui 2015. aastal.



**Joonis 8.** B-tüübi tärkliseterade (diameeter < 15 µm) läbimõõt väetusvariantide keskmisena aastatel 2015 (A) ja 2016 (B)

M0 - mahe kontroll; M1 - vahekultuur; M3 - sõnnik+vahekultuur; N0, N50, N100, N150 - min.lämmastik kogused 0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>; erinevad tähed (a, b, c) tähistavad usutavaid erinevusi,  $p < 0,05$

**Tabel 5.** 2015. aasta tärkliseterade tüüpide ja kogu tärkliseterade keskmine läbimõõt, µm

Läbimõõt	M0	M1	M2	N0	N50	N100	N150
<15 µm	10,58a	10,24b	10,25b	10,25b	10,06c	10,20bc	10,12bc
> 15 µm	28,98c	29,67bc	26,58d	31,29a	29,92bc	30,90ab	30,11bc
Keskmine	17,16a	15,15b	13,09c	17,25a	16,19ab	16,99a	15,75b

< 15 µm - B-tüübi tärkliseterade keskmine läbimõõt; > 15 µm - A-tüübi tärkliseterade keskmist läbimõõtu; Keskmine - kõigi variandis mõõdetud tärkliseterade keskmist läbimõõtu (A + B-tüüp). M0 - mahe kontroll; M1 - vahekultuur; M3 - sõnnik+vahekultuur; N0, N50, N100, N150 - min.lämmastik kogused 0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>; erinevad tähed (a, b, c) tähistavad usutavaid erinevusi,  $p < 0,05$

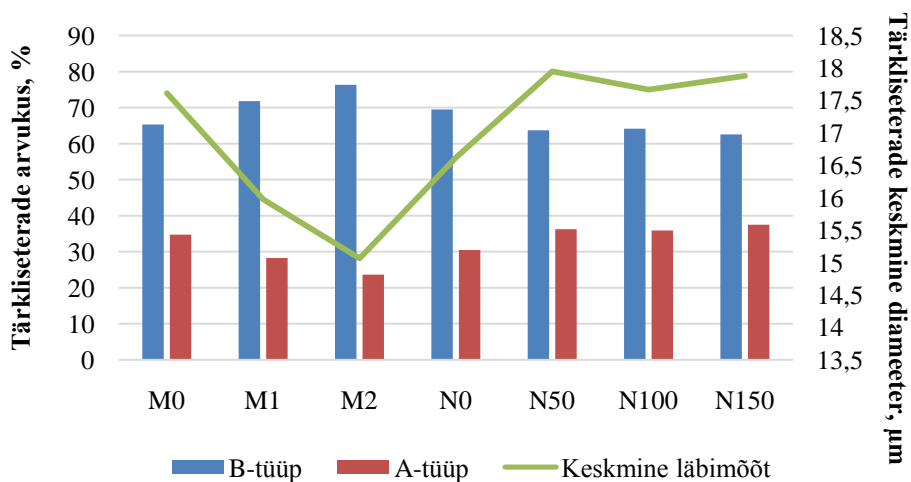
**Tabel 6.** 2016. aasta tärklieterade tüüpide ja kogu tärklieterade keskmine läbimõõt,  $\mu\text{m}$

Läbimõõt	M0	M1	M2	N0	N50	N100	N150
<15 $\mu\text{m}$	10,58bc	10,39d	10,46cd	10,94a	10,92a	10,70b	10,90a
> 15 $\mu\text{m}$	32,87a	30,95bc	32,43a	29,14d	32,03ab	30,36c	30,38c
Keskmine	18,07bc	16,80d	17,04cd	15,99d	19,71a	18,35b	20,01a

< 15  $\mu\text{m}$  - B-tüübi tärklieterade keskmine läbimõõt; > 15  $\mu\text{m}$  - A-tüübi tärklieterade keskmine läbimõõt; Keskmine - kõigi variandis mõõdetud tärklieterade keskmine läbimõõt (A + B-tüüp). M0 - mahe kontroll; M1 - vahekultuur; M2 - sõnnik+vahekultuur; N0, N50, N100, N150 - min.lämmastik kogused 0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>; erinevad tähed (a, b, c) tähistavad usutavaid erinevusi,  $p < 0,05$

Võrreldes tärklieterade arvukust ja läbimõõtu aastate 2015-2016 keskmistena (Joonis 9), võib öelda, et maheviljeluses on B-tüübi tärklieterade arvukus suurem kui tavaviljeluses. Vastavalt sellele on maheviljeluses arvult vähem ja tavaviljeluses rohkem A-tüübi tärklieteri. B-tüübi arvukuse kasvuga ja A-tüübi arvukuse vähenemisega kaasneb tärklieterade üldise keskmise diameetri vähenemine ja vastupidi.

**Tärklieterade keskmine arvukus ja läbimõõt erinevatel väetusvariantidel**



**Joonis 9.** Tärklieterade keskmine arvukus (%; tüüpide kaupa) ja läbimõõt ( $\mu\text{m}$ ) aastate 2015-2016 keskmistena

M0 - mahe kontroll; M1 - vahekultuur; M2 - sõnnik+vahekultuur; N0, N50, N100, N150 - min.lämmastik kogused 0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>

### 3.3. Tulemused mõõdetuna laserigaMalvern Mastersizer Hydro 3000

Laseriga mõõdetud tulemused on raskesti analüüsitavad, kuna masina ebasobiv seadistus ei anna tärkliasterade koguseid proovis (ei loenda, mitu tükki on mõõdetud). Masina tarkvara jagab tärkliasterade läbimõõdu alusel gruppidesse, arvutades selle põhjal mahuprotsendi. Need andmed võimaldavad teostada korrelatsioonianalüüsi (Tabel 7), millest selgub, et aasta omab mõju tärkliasterade suurusele.

**Tabel 7.**Malvern Mastersizer Hydro 3000mõõtmistulemused

	Aasta	Variant
aasta	1	
variant	0	1
eripindala	-0.80***	0.040717
Dx (10)	0.89***	0.054942
Dx (50)	0.61***	-0.04071
Dx (90)	-0.15	-0.20285
0-5 µm	-0.86***	-0.0268
5-15 µm	0.09	0.099318
üle 15 µm	0.62	-0.03942

\* -  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ ; \*\*\* -  $p < 0,001$ ; Dx (10), Dx (50), Dx (90) - osakeste diameeter µm, millest väiksema läbimõõdugaosakesed moodustavad vastavalt 10%, 50% või 90%proovi koguruumalast

### 3.4. Tärkliasterade osakaalu ja suuruse mõju talinisu saagi ja kvaliteedi näitajatele

Korrelatsioonanalüüsi tulemustest selgub, et nii A- kui ka B-tüüpi tärkliasterade arvukus ja läbimõõt mõjutavad usustaval määral talinisu terasaagi ja terade esmasel purustamisel väljatuleva peenjahu saagi suurust ning talinisu terade mahumassi; langemisarvu suurust tärkliasterad ei mõjutanud (Tabel 8). Korrelatsioonanalüüs põhineb aastate 2015-2016 andmetel.

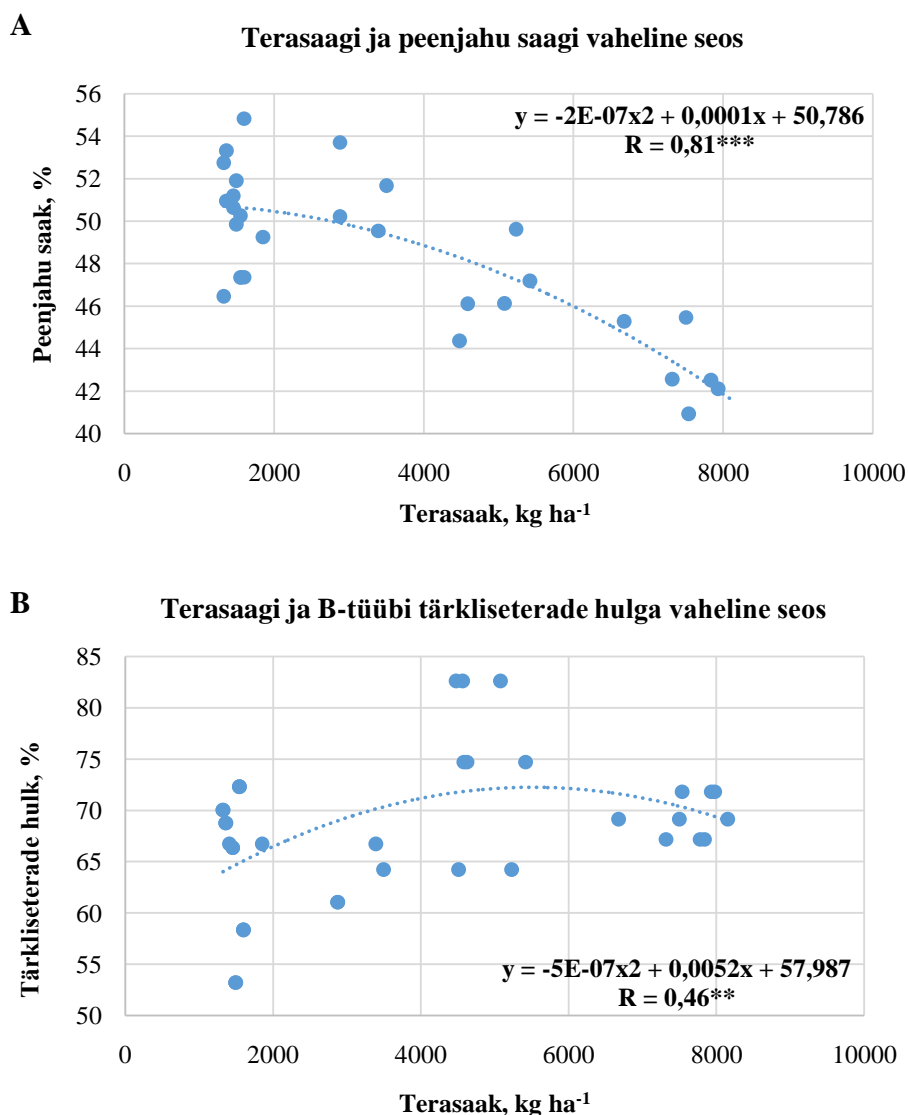
**Tabel 8.**Korrelatsioonanalüüsi tulemused 2015-2016 aasta keskmiste põhjal

	Terasaak	Peenjahu saak	Mahumass	Langemisarv
Peenjahu saak	-0.79***	1	-0.73***	-0.14
B-tüüp, %	0.37*	-0.49**	0.43**	-0.003
B-tüüp, läbimõõt	-0.73***	0.63***	-0.58**	-0.34*
A-tüüp, %	-0.37*	0.49**	-0.43**	0.002
A-tüüp, läbimõõt	-0.39*	0.32*	-0.47**	0.06

\*-p < 0,05; \*\* - p < 0.01; \*\*\* - p < 0,001

Seosed terasaagi ja peenjahu saagi, tärklieterade arvukuse (%; A- ja B-tüüp) ja A-tüübi diameetri vahel on toodud joonistel 10 (A, B) ja 11 (A,B). Terasaak on seosesse valitud selle põhjal, et seda mõjutavad ilmastikutingimused, nisu taime parameetrid (nt pea pikkus, pähikute arv peas) ja taimede arv ruutmeetri kohta - samad näitajad omavad mõju ka tärklieterade arvukusele ja suurusele, andes eraldi korrelatsioonides sarnaseid tulemusi.



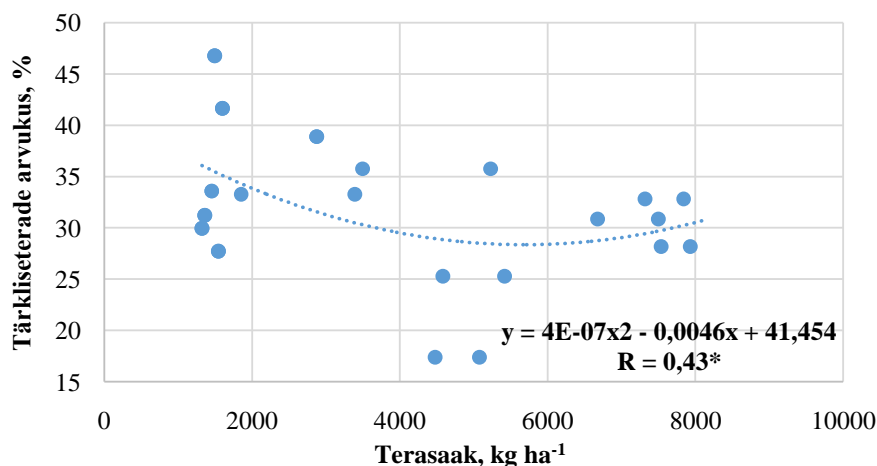


**Joonis 10.** Terasaagi ja peenjahu saagi ning B-tüübi tärklisteterade hulga vaheline seos perioodil 2015-2016.

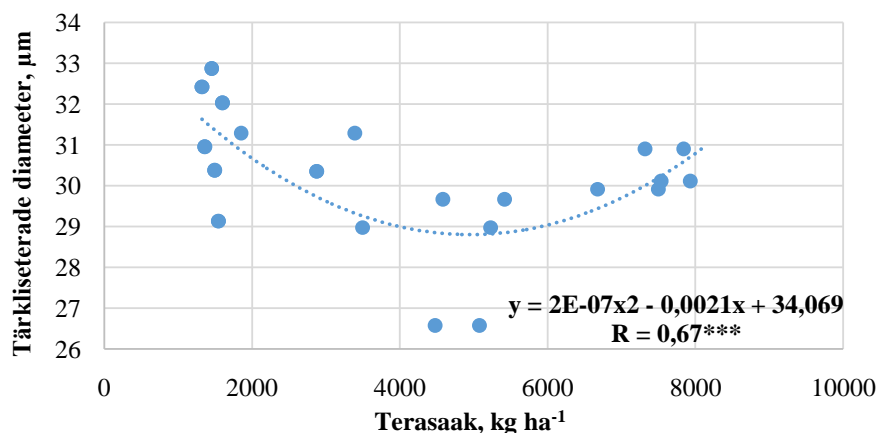
Nisu terasaak vaadeldaval perioodil jääb vahemikku 1323-8153 kg ha<sup>-1</sup>. Aasta 2015 on olnud soodne suuremate terasaakide saamiseks (3391-8153 kg ha<sup>-1</sup>), 2016. aastal on pigem olnud ebasoodne (1323-2876 kg ha<sup>-1</sup>). Terasaagi suurenedes peenjahu väljatulek (saak) väheneb (esimese jahvatuse tulemus; Joonis 10 A). Terasaagi suurenedes suureneb B-tüübi tärklisteterade arvukus (%) terises (Joonis 10 B). Kuna A- ja B-tüübi arvukuse osakaalud on omavahel seotud (ühe vähenedes teine suureneb), siis A-tüübi tärklisteterade osakaal suureneb kui terasaak väheneb (Joonis 11 A). Tärklisteterade arvukus on suurem, kui nende keskmine diameeter on väiksem (Tabel 3). Terasaagi suurenedes väheneb tärklisteterade keskmine läbimõõt nii A- kui B-tüübi graanulitel (Joonis 11 B; Tabel 8). Peenjahu saak

esimese jahvatuse järel on 2015. aasta keskmisena 40,9-51,7 % ning 2016. aasta keskmisena 46,5-54,8 %.

**A** Terasaagi ja A-tüübi tärklisteterade arvukuse vaheline seos

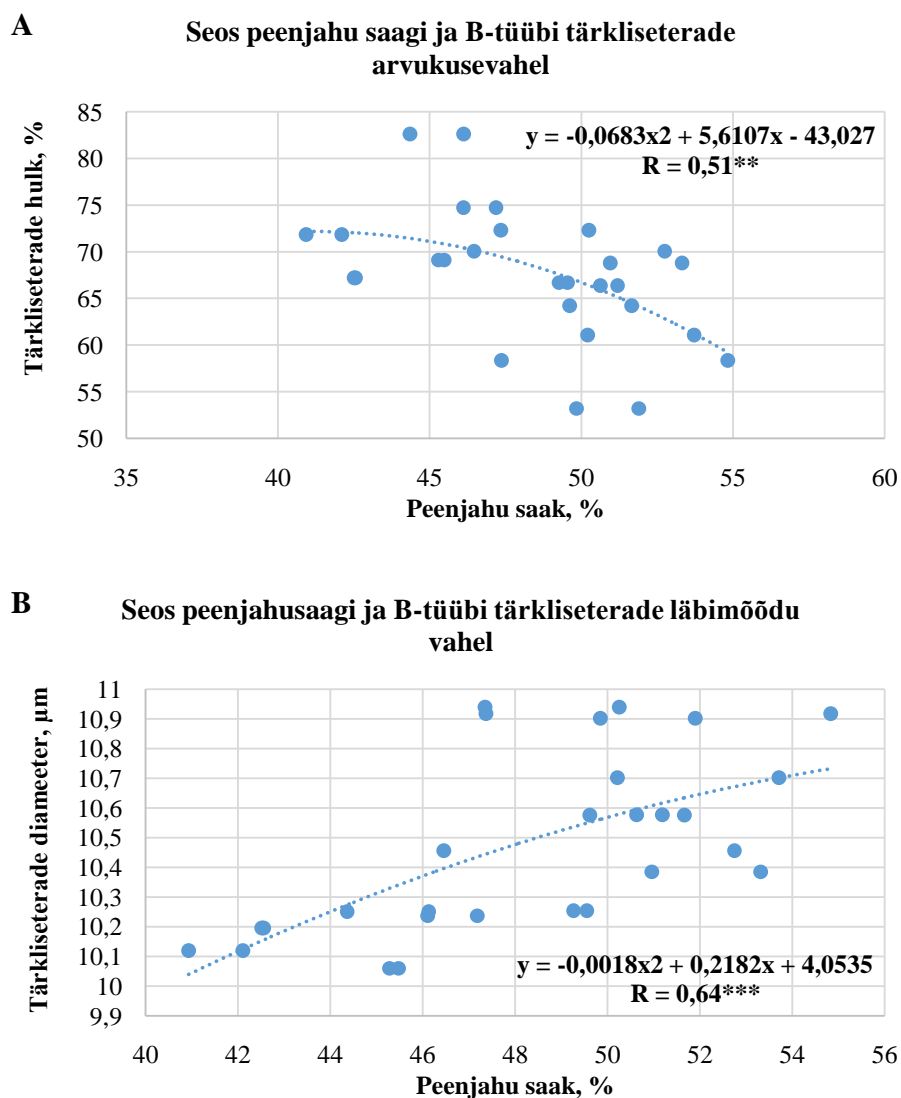


**B** Terasaagi ja A-tüübi tärklisteterade läbimõõdu vaheline seos



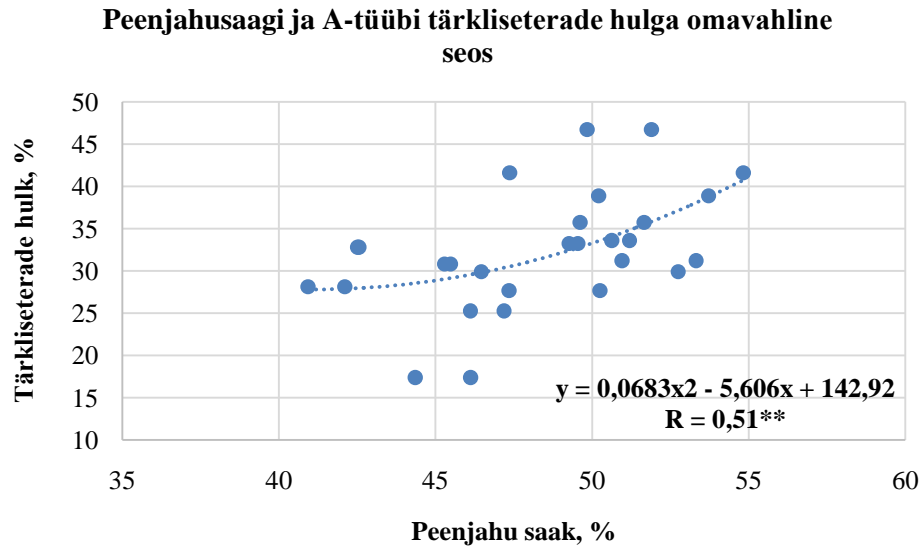
**Joonis 11.** Terasaagi ning A-tüüpi tärklisteterade arvukuse ja keskmise läbimõõdu vaheline seos perioodil 2015-2016

Tulemustest selgub, et eeldatud positiivne seos väiksemate tärklisteterade arvukuse (%) ja suurema peenjahu saagi vahel pole tõene - seos on tegelikult tugevalt negatiivne peenjahu saagi ja B-tüübi tärklisteterade arvukuse (Joonis 12 A) vahel. Küll aga mõjutab B-tüübi tärklisteterade diameeter peenjahu väljatulekut positiivselt. Mida suuremad on B-tüübi tärklistegraanulite läbimõõdud, seda suurem on peenjahu saak (Joonis 12 B).



**Joonis 12.** Peenjahu saagi ning B-tüübi tärkliasterade arvukuse ja keskmise diameetri vaheline seos perioodil 2015-2016

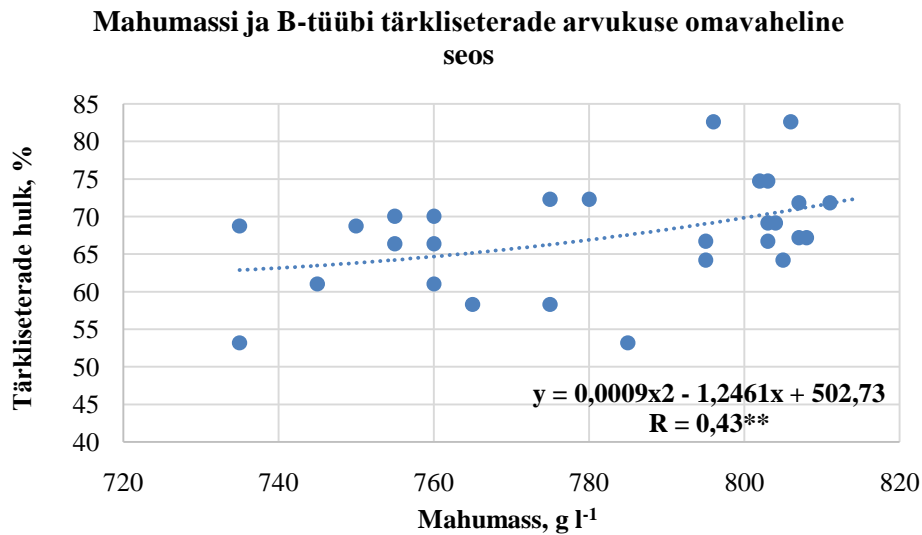
Peenjahu saak sõltub tärkliasterade suurusest (joonis 12 B) - mida suurem on graanuli diameeter, seda suurem on peenjahu saak (kuna A-tüübi tärkliasterade läbimõõdu ja peenjahu saagi joonis tuleb sarnane, siis seda uuesti ei korda). Korrelatsioonanalüüsist selgub, et A-tüübi arvukus on tugevas positiivses seoses peenjahu saagiga (Joonis 13). Üleüldiselt tärkliasterade keskmine suurem diameeter viitab suuremale peenjahu saagile.



**Joonis 13.** Peenjahu saagi (%) ja A-tüübi tärkliseterade arvukuse (%) omavaheline seos perioodil 2015-2016

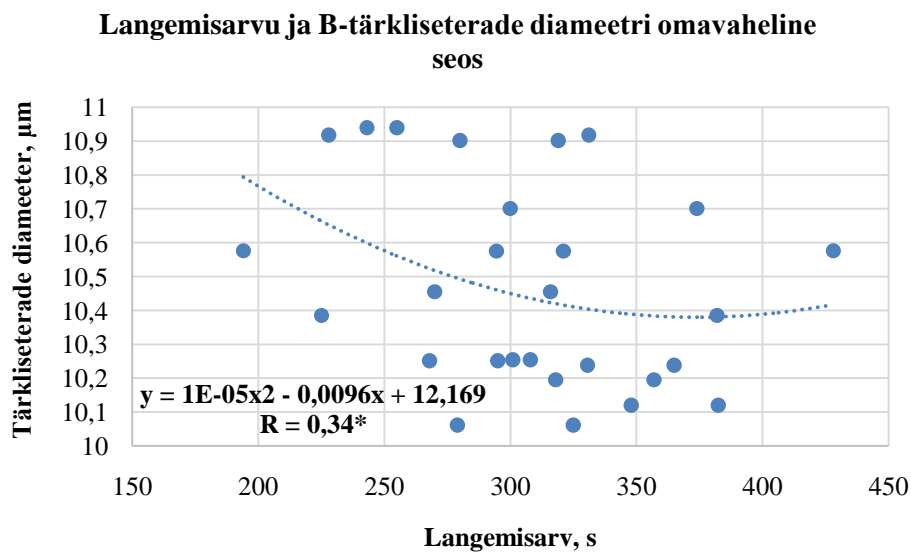
Tärkliseterade parameetrid (arvukus, keskmine läbimõõt) ja peenjahu saak on omavahelises tugevas seoses nisu mahumassiga (Tabel 8). 2015. aastal on mahumass vahemikus 795-814 g l<sup>-1</sup> ja 2016. aastal 735-795 g l<sup>-1</sup>. Ainsana on positiivses seoses B-tüübi tärkliseterade arvukus (%) ja mahumass (Joonis 14). Mida suurem on B-tüübi tärkliseterade arvukus, seda suurem on nisu mahumass.

Mahumassi seos B-tüübi läbimõõduga on negatiivne. A-tüübi arvukus (%), keskmine läbimõõt (µm) ja peenjahu saak omavad tugevat negatiivset mõju mahumassile. Kuna A- ja B-tüübi arvukused on omavahel seotud (ühe vähendes teine suureneb ja vastupidi), siis A-tüübi arvukuse ja keskmise läbimõõdu mõju mahumassile eraldi ei analüüsita (mõju mahumassile samuti vastupidine).



**Joonis 14.** Mahumassi ja B-tüübi tärkliasterade arvukuse omavaheline seos perioodil 2015-2016

Ainuke usutav seos langemisarvul tekib B-tüübi tärkliise keskmise diameetriga. Vaadeldaval perioodil jääb B-tüübi keskmine läbimõõt vahemikku 10-11  $\mu\text{m}$ . 2015. aastal on langemisarv vahemikus 268-383 sekundit ning 2016. aastal 194-428 sekundit. Mida väiksem on tärkliastera läbimõõt, seda suurem on langemisarv (s - sekundites) (Joonis 15).



**Joonis 15.** Langemisarvu ja B-tüübi tärkliasterade keskmiste diameetrite omavaheline seos perioodil 2015-2016

## 4. JÄRELDUSED JA ARUTELU

Kirjandusest võib leida andmeid viljelusviisi mõju kohta nisu peen- ja kogujahu saagile (Bechtel, Wilson, 2003; Edwards *et al.*, 2008), nisu terade kõvadusele (Greffeuille *et al.*, 2006; Lindeboom *et al.*, 2004), nisu tehnoloogilistele ja jahvatusomadustele (Krejčířová *et al.*, 2006; Mabilie *et al.*, 2003), aga vähe on uuritud viljelusviisi mõju nisu tärkliseterade suurusele. Küll on aga uuritud ilmastiku mõju tärkliseterade kujunemisele ja suurusele (Hurkman *et al.*, 2003; Stone, Morell, 2009). Ka antud katses on peamiseks tärkliseterade omaduste mõjutajaks vaadeldaval perioodil ilmastik (2015-2016).

Viljelusviisid ja väetusvariandid kahe katseaasta keskmisena usutavat mõju ei oma, aastaid eraldi käsitledes on aga viljelusviisi mõju usutav. Kahe aasta keskmisena puudub usutav mõju seetõttu, et 2016. aasta ilmastikutingimused olid väga kontrastsed - maikuu oli sademete koguhulk olnud nullilähedane, samas juunis olisademeid kuude lõikes kordades rohkem. Samuti on vaadeldaval perioodil saagi ja sellega seotud kvaliteedinäitajad aastate lõikes väga varieeruvad.

Saadud tulemustest võib järeldada, et A-tüübi proportsionaalse arvukuse vähenemisega ning B-tüübi proportsionaalse arvukuse kasvuga väheneb tärkliseterade keskmine diameeter. 2015. aasta, mis oli ilmastikutingimuste poolest suure terasaagi saamist soodustav, esines teristes rohkem väiksema läbimõõduga B-tüübi tärklisegraanuleid. See on seostatav pikema kasvuperioodiga, mis soodustab väikeste tärkliseterade teket, kuna nende süntees algab hiljem (ligi nädal peale nisu õitesemist). Antud aastal on viljelusviisid ja väetusvariandid üksteisest usutavalt erinevad. Seda tulemust kinnitavad ka varasemad uuringud (Borras *et al.*, 2004; Langeveld *et al.*, 2000; Stone, Morell, 2009). Meie katse 2015. a. tulemustest selgub ka, et viljelusviisid ja väetusvariandid on üksteisest usutavalt erinevad.

2016. aastal, mil kasvuperioodi ilmastik oli heitlik, esines käsitsi määramise meetodil suuri A-tüübi tärklisegraanuleid arvuliselt rohkem kui 2015. aastal. Maikuu põua mõju talinisu arengule mõjutas kasvuperioodi pikkust, mis oli võrreldes 2015. aastaga paari nädala võrra lühem, terasaak oli väiksem ning hiljem kujunevate B-tüüpi tärkliseterade arvukus suhteliselt väiksem (ja A-tüüpi terade arvukus suhteliselt suurem). See tulemus on

kooskõlas ka Stone'i ja Morell'i (2009) andmetega. Sademeterohke august ei võimalda saagi õigeaegset koristust (kui on saavutatud füsioloogiline küpsus) ning see omakorda võib avaldada mõju nisu terasaagile. Antud aastal olid tavaviljelusvariandid üksteisest usutavalt erinevad.

Gluteeniindeksi määramise elueerimispuhvrist määratav tärkliseterade arvuline jagunemine erineb käsitsi määramise meetodi tulemustest. Kuna antud meetod on katsesse võetud eksperimendina, siis kirjandusest vastavat meetodit ei leitud. Seega võib tulemuste varieeruvus ja mõõtmisel loendatud tärkliseterade arvukus erineda tunduvalt käsitsi määratud meetodi tulemustest. Tärkliseterad võisid olla seotud gluteeniga ning seetõttu oli nende arvukus uuritavas proovis väiksem. Samuti võis mõjutavaks teguriks olla terade raskus - suuremad tärkliseterad on raskemad ning vajuvad vedeliku põhja, proovi võtmisel võis uuritav katsematerjal olla halvasti segatud (suured terad endiselt anuma põhjas) ning need ei sattunud pipetti. Siiski võib saadud tulemuste põhjal väita, et viljelusviisid olid usutavalt erinevad, kuid väetusvariandid mitte.

Käsitsi tärklike määramise meetodil on tärklisegraanulite keskmine läbimõõt kahe aasta võrdluses samuti varieeruv. Märkimisväärsed sarnasusi või trende aastate ja väetusvariantide vahel pole. Küll aga on mõlemal aastal tärkliseterade keskmine läbimõõt väiksem maheviljelusviisil. See võis olla tingitud sellest, et mahesüsteemis kannatavad taimed nende kiirel kasvuperioodil sageli lämmastikupuuduse käes, mis omakorda tingib väiksema maapealse biomassi ja väiksema koguse toitaineid, mis terasse peale õitsemist liiguvad (Hanell *et al.*, 2004; Łysoń *et al.*, 2015; Osman *et al.*, 2011). Kui võrrelda A-tüübi graanulite keskmiseid läbimõõte, siis 2015. aastal on see madalam kui 2016. aastal. See on seletatav nisu saagikuse erinevustega samadel perioodil - 2015 vahemikus 3391-8153 kg ha<sup>-1</sup> ja 2016 vahemikus 1323-2876 kg ha<sup>-1</sup> - suurem terasaak, väiksemad tärkliseterad ja vastupidi. Viljelusviiside vahel esinesid usutavad erinevused.

B-tüübi tärkliseterade keskmised läbimõõdud vaadeldaval perioodil olid samuti erinevad. 2015. aastal olid läbimõõdud usutavalt väiksemad kui 2016. aastal (väetisvariantide keskmisena vastavalt  $15,9 \pm 0,56$  ja  $18,0 \pm 0,57$   $\mu\text{m}$ ). Nagu eespoolt selgus, oli B-tüüpi tärkliseterade arvukus teras suurem, see tingis samas nende diameetri lühenemise. Nagu ka A-tüübi puhul, kehtib siin terasaagi mõju - suurem terasaak, väiksemad tärklisegraanulid. 2015. aastal viljelusviisid üksteisest usutavalt ei erinenud. 2016. aastal olid viljelusviisid usutavalt erinevad.

Tärkliseterade arvukuse ja läbimõõtude vahel tekib seos. Mida rohkem esineb A-tüübi tärklist, seda väiksem on B-tüübi arvuline osakaal. See omakorda tähendab seda, et graanulite keskmine läbimõõt suureneb. Kui tärkliseterade keskmine läbimõõt suureneb, väheneb tärkliseterade arvuline kogus (tükkides). Seda kinnitavad ka Edwards'i (2010) andmed.

Kui vaadata tärkliseterade mõju terasaagile, peenjahu saagile, mahumassile ja langemisarvule, võib välja tuua selle, et A- ja B-tüübi arvukused (%) omavad samas ulatuses, kuid vastupidiseid mõjusid eelnimetatud näitajatele. Kuna tärkliseterade omadused mõjutavad peenjahu saaki (Dowell, 2000; Osborne, 2007), vaatleme ka terasaagi ja peenjahusaagi omavahelist seost. Mida suurem on terasaak, seda väiksem on esmasel jahvatamisel saadav peenjahu kogus (%). Seos nende näitajate vahel on tugev ( $R=0,81^{***}$ ).

Terasaagi ja tärkliseterade hulga vahel on keskmise tugevusega positiivne seos ( $R=0,46^{**}$ ). See on seotud arvatavasti taimede vegetatsiooniperioodi pikkusega ja toitainete kättesaadavusega (Stone, Morell, 2009). Pikema terade täitumisperioodi jooksul (meie katses aastal 2015) ja paremate toitumistingimuste juures (tavasüsteemi variandid) kasvavad tärkliseterad suuremaks. Terasaagi kasvades väheneb A-tüübi tärkliseterade ja suureneb B-tüübi tärkliseterade arvukus ( $R=0,43^{**}$ ) ning väheneb graanulite läbimõõt ( $R=0,67^{***}$ ). Tärkliseterade arvukus mõjutab aga omakorda tera mahumassi ja jahu väljatulekut ehk jahusaaki (Carson, Edwards, 2009; Cracknell, Williams, 2004). Mahumassi suurenemisele mõjub positiivselt tärkliseterade suurem arvukus ( $R=0,43^{**}$ ), mis tuleneb tärklisegraanulite väiksemast keskmisest läbimõõdust. See on tõenäoliselt tingitud sellest, et väiksemaid tärkliseteri mahub üksteise kõrvale rohkem ning nende vahele jääb vähem vaba ruumi, moodustades nii tihedama endospermi. Väiksema diameetriga tärkliseterade arvukus on seoses suurema langemisarvuga ( $R=0,34^{*}$ ). Antud juhul on ilmselt mõjutajaks tärkliseterade keemilise koostis (Kangor, Ingver 2012; Kwiatkowski *et al.* 2015).

Antud katses hinnati ka peenjahu saagi suurust. Jahuveskites sageli suunatakse esmaselt purustatud terad uuesti ringlusse, et saavutada võimalikult väikese tuhasisaldusega jahu. (Campbell *et al.*, 2007). Mida rohkem on jahus kliide ja kestade osakesi, seda suurem on jahu tuhasisaldus. Õhuliste saiaide valmistamisel hinnatakse kõrgelt just peenjahu ehk väga madala tuhasisaldusega jahu fraktsiooni (Fang, Campbell, 2002). Mida suurem on



peenjahu saak juba pärast esmast terade purustamist, seda ökonoomsem on tootmine (Fang, Campbell, 2003). Peenjahu saagi ja tärkliasterade läbimõõdu vahel oli keskmise tugevusega negatiivne seos - peenjahu saagi kasv viitab väiksemale tärkliasterade arvukusele. Peenjahu saagi ja tärkliasterade läbimõõdu vahel oli tugev positiivne seos - mida suuremad tärkliasterad, seda suurem peenjahu saak.

Kuigi tärkliisegraanulite parameetrid ja keemiline koostis omavad mõju peenjahu saagile ja küpsetusomadustele, on tänaseni suhteliselt vähe tähelepanu tärglise omadustele pööratud. Seetõttu vajab antud teema edasist uurimist. Põhirõhk on suunatud gluteeni omadustele ja seda mõjutavatele teguritele (väetusnormid, viljelusviisid, keskkonnamõjud). Tärglis ja gluteen on omavahel seoses (ühe arvukuse kasv vähendab teise arvukust), nende koosmõju ja parameetrid mõjutavad nisujahu kvaliteeti ja omadusi.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärkideks on välja selgitada, kas viljelusviis ja erinevad väetusnormid omavad mõju nisu tärklisegraanulite omadustele (arvukus ja läbimõõt), kas tärkliseterad mõjutavad jahusaaki ja kvaliteedinäitajaid ning töötada välja tärkalise eraldamise ja mõõtmise protokoll kahe olemasoleva põhjal. Uuritakse talinisu saaki, mis on kasvatatud pikaajalise mahe- ja tavaviljelusviisi katses aastatel 2015-2016.

Tärkalise eraldamiseks kasutatakse kahte meetodit - otse teradest määramist ehk kolme tera meetodit ning gluteeniindeksi elueerimispuhvrist tärklise määramist. Üheks tärkliseterade mõõtmise ja määramise meetod on käsitsi mikroskoobi all. Neist tehakse digipildid, mida mõõdetakse arvutis sobiva programmi abil. Teiseks määramise ja mõõtmise meetodiks on laseriga mõõtmine, mis annab tulemused automaatselt. Saadud tulemused analüüsitakse programmiga MS Office Excel (ANOVA).

Tulemused kinnitavad seda, et tärkliseterade arvukuse ja läbimõõdu peamiseks mõjutavaks teguriks on katseaastate ilmastik. Kuna ilmastik oli katseaastatel äärmiselt kontrastne, siis kahe aasta keskmisena viljelusviisidel ja väetusvariantidel mõju tärkliseterade omadustele usutaval määral puudus, küll oli see aga usutav katseaastaid eraldi käsitledes. Selgub see, et A- ja B-tüübi tärklisegraanulite arvukus ja diameeter mõjutasid terasaagi suurust - mida rohkem oli tärklisegraanuleid, seda väiksemad on läbimõõdud ja seda suurem oli terasaak. Samuti oli seos peenjahu saagi ja tärklise arvukuse ning diameetri vahel. Suurem jahusaak viitab väiksemale tärkliseterade arvule, kuid nende suuremale diameetrile ja vastupidi. Suurem terise mahumass viitab suuremale tärkliseterade arvukusele ning nende väiksemale diameetrile. Kõrgem langemisarv viitab samuti väiksematele tärkliseteradele.

Antud magistritööst selgub, gluteeniindeksi määramise jääkveest määratud tärkliseterade arvukus on väiksem kui otse teradest määratud proovide puhul. Seetõttu võib arvata, et jääkvee kasutamine tärklise määramiseks pole sobiv variant. Samuti oleks tarvilik lisaks tärkliseterade arvukusele ja läbimõõdule uurida nende keemilist koostist ja mõju küpsetusomadustele. Antud teemale on suhteliselt vähe tähelepanu pööratud ning seetõttu vajab edasist uurimist.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Armonienė, R., Jonavičienė, K., Ruzgas, V., Brazauskas, G. (2013). Isolation of differentially expressed genes in wheat caryopses with contrasting starch granule size. *Central European Journal of biology*, Vol. 8, No. 3, lk 297-305
2. Ball S. G., Morell M. K. (2003). From bacterial glycogen to starch: understanding the biogenesis of the plant starch granule. *Ann. Rev. Plant Biology*, Vol. 54, lk 207-235
3. Bechtel, D. B., Wilson, J. D. (2003). Amyloplast formation and starch granule development in hard red winter wheat. *Cereal Chemistry*, Vol. 80, lk 175-183.
4. Borgh, A., Goesart, H., Veraverbeke, W. S., Delcour, J. A. (2005). Fractionation of wheat and wheat flour into starch and gluten: Overview of the main processes and the factors involved. *Journal of Cereal Science*, Vol. 41, No. 3, lk 221-237
5. Borrás L., Slafer, G. A., Otegui, M. E., (2004). Seed dry weight response to source - sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research*, Vol. 86, lk 131-146
6. Cauvain, S. P. (2003). *Bread making: Improving quality*. Woodhead Publishing Limited. Abington Hall, Abington, Cambridge, England. 589 lk
7. Campbell, G. M., Fang, C., Muhamad, II. (2007). On predicting roller milling performance VI: Effect of kernel hardness and shape on the particle size distribution from first break milling of wheat. *Food and Bioproducts Processing*, Vol. 85, lk 7-23
8. Ceseviciene, J., Slepeliene, A., Leistrumaitė, A., Ruzgas, V., Slepetyš, J. (2012). Effects of organic and conventional production systems and cultivars on the technological properties of winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 92, lk 2811–2818
9. Dowell, F. E. (2000). Differentiating vitreous and nonvitreous durum wheat kernels by using near-infrared spectroscopy. *Cereal Chemistry*, Vol. 77, lk 155-158
10. Dziki, D., Cacak-Pietrzak, G., Miś, A., Jończyk, K. & Gawlik-Dziki, U. (2014). Influence of wheat kernel physical properties on the pulverizing process. *Journal of Food Science & Technology*, Vol. 51, No. 10, lk 2648-2655
11. Edwards, M.A., Osborne, B. G., Henry, R.J. (2008). Effect of endosperm starch granule size distribution on milling yield in hard wheat. *Journal of Cereal Science*, Vol. 48, No.1, lk 180-192
12. Edwards, M. A. (2010). Morphological features of wheat grain and genotype affecting flour yield. PhD thesis, Southern Cross University, Lismore, NSW

13. Evers, T., Millar, S. (2002). Cereal grain structure and development: Some implications for quality. *Journal of Cereal Science*, Vol. 36, lk 261-284
14. Ellis, R. P., Cochrane, M. P., Dale, M. F. B., Duffus, C. M., Lynn, A., Morrison, I. M., Prentice, R. D. M., Swanson, J. S., Tiller, S. A. (1998). Starch production and industrial use. *Journal of The Science of Food & Agriculture*, Vol. 77, lk 289-311
15. Fang, C. Y., Campbell, G. M. (2002). Effect of roll fluting disposition and roll gap on breakage of wheat kernels during first-break roller milling. *Cereal Chemistry*, Vol. 79, lk 518-522
16. Fang, C. Y., Campbell, G. M. (2003). On predicting roller milling performance V: Effect of moisture content on the particle size distribution from first break milling of wheat. *Journal of Cereal Science*, Vol. 37, lk 31-41
17. Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., Delcour, J. A. (2005). Wheat flour constituent: How they impact bread quality and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 16, No. 1-3, lk 12-30
18. Greffeuille, V., Abecassis, J., Rousset, M., Oury, F. X., Faye, A., Bar L'Helgouac'h, C., Lullien-Pellerin, V. (2006). Grain characterization and milling behaviour of near-isogenic lines differing by hardness. *Theoretical & Applied Genetics*, Vol. 114, lk 1-12
19. Hanell, U., L-Baekström, G., Svensson, G. (2004). Quality studies on wheat grown in different cropping systems: a holistic perspective. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B*, 54 (4), lk 254-263
20. Hurkman, W. J., McCue, K. F., Altenbach, S. B., Korn, A., Tanaka, C. K., Kotharia, K. M., Johnson, E. L., Bechtel, D. B., Wilson, J. D., Anderson, O. D., DuPont, F. M. (2003). Effect of temperature on expression of genes encoding enzymes for starch biosynthesis in developing wheat endosperm. *Plant Science*, Vol. 164, lk 873-881
21. Hrušková, M., Švec, I. (2009). Wheat hardness in relation to other quality factors. *Czech Journal of Food Sciences*, Vol. 27, lk 240-248
22. Kangor, T., Ingver, A. (2012). Viljelusviisi mõju suvinisu küpsetusomadustele. *Agronomy* 2012, lk 37-42
23. Kihlberg, J., Johansson, L., Kohler, A., Risvik, E. (2004). Sensory qualities of whole wheat pan bread – influence of farming system, milling and baking technique. *Journal of Cereal Science*, Vol. 39, lk 67-84
24. Krejčířová, L., Capouchová, I., Petr, J., Bicanová, E., Kvapil, R. (2006). Protein composition and quality of winter wheat from organic and conventional farming. *Zemdirbyste-Agriculture*, Vol. 93, No. 4, lk 285-296
25. Kwiatkowski, C. A., Haliniarz, M., Tomczyńska-Mleko, M., Mleko, S., Kawecka-Radomska, M. (2015). The content of dietary fiber, amino acids, dihydroxyphenols and

- some macro- and micronutrients in grain of conventionally and organically grown common wheat, spelt wheat and proso millet. *Agricultural & Food Science*, Vol. 24, lk 195-205
26. Langeveld, S. M. J., van Wijk, R., Stuurman, N., Kijne, J. W., de Pater, S. (2000). B type granule containing protrusions and interconnections between amyloplasts in developing wheat endosperm revealed by transmission electron microscopy and GFP expression. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 51, lk 1357-1361
  27. Lepajõe, A. (1984). Nisu. Tallinn: Valgus. 130 lk
  28. Li, W., Shan, Y., Xiao, X., Zheng, J., Luo, Q., Ouyang, S., Shang, G. (2013). Effect of nitrogen and sulfur fertilization on accumulation characteristics and physicochemical properties of A- and B-Wheat starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 61, lk 2418-2425
  29. Lindeboom, N., Chang, P.R., Tyler, R.T. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch-Stärke*, Vol. 56, lk 89–99
  30. Lysoń, E., Biel, W., Sobolewska, M. (2015). Estimation of the selected winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties cultivated in organic and conventional crop production systems. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica* 320, Vol. 35, No. 3, lk 59–68
  31. Mabilhe, F., Peyron, S., Antoine, C., Rouau, X., Abecassis, J. (2003). Recent achievements in the appreciation of the technological behaviour of cereal grains. In 11th Australian Barley Technical Symposium . Hobart, Tasmania
  32. Mares, D., Mrva, K. (2008). Late-Maturity  $\alpha$ -amylase: Low falling number in wheat in the absence of preharvest sprouting. *Journal of Cereal Science*. Vol. 47, No. 1, lk 6-17
  33. Martin, C., Smith, A. M. (1995). Starch biosynthesis. *The Plant Cell*, Vol. 7, lk 971-985
  34. *Methods of Soil and Plant Analysis*.(1986). Agricultural Research Centre, Department of Soil Science. Jokioinen, Finland. lk 45 p
  35. Murphy, D. J. (2011). *Plants, biotechnology and agriculture*. Cambridge: CAB International.
  36. Mäder, P., Hahn, D., Dubois, D., Gunst, L., Alföldi, T., Bergmann, H., Oehme, M., Amadó, R., Schneider, H., Graf, U., Velimirov, A., Fließbach, A., Niggli, U. (2007). Wheat quality in organic and conventional farming: results of 21 year field experiment. *Journal of the Science of Food&Agriculture*, Vol. 87, lk 1826–1835
  37. Osborne, B. G., Henry, R., Southan, M. D. (2007). Assessment of commercial milling performance of hard wheat by measurement of the rheological properties of whole grain. *Journal of Cereal Science*, Vol. 45, lk122-127
  38. Osman, A. M., Struik, P. C., Lammerts van Bueren, E.T. (2011). Perspectives to breed for improved baking quality wheat varieties adapted to organic growing conditions. *Journal of The Science of Food & Agriculture* , Vol. 92, lk 207–215

39. Park, S. H., Chung, O. K., Seib, P.A. (2005). Effects of varying weight ratios of large and small wheat starch granules on experimental straight-dough bread. *Cereal Chemistry*, Vol. 82, No. 21, lk 66-172
40. PM03: Põllukultuuride kasvupind. (Andmed uuendatud 10.02.2017). - *Eesti Statistika Andmebaas*. <http://www.stat.ee> (12.05.2017)
41. PM04: Põllukultuuride saak. (Andmed uuendatud 10.02.2017). - *Eesti Statistika andmebaas*. <http://www.stat.ee> (12.05.2017)
42. PM041: Põllukultuuride saagikus. (Andmed uuendatud 10.02.2017). - *Eesti Statistika andmebaas*. <http://www.stat.ee> (12.05.2017)
43. Pomeranz, Y. (1988). *Wheat: Chemistry and thechnology*, Vol. 2. American Association of Cereal Chemistry, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 562 lk
44. Reintam, E., Köster, T. (2006). The role of chemical indicators to correlate some Estonian soils with WRB and soil taxonomy criteria. *Geoderma* 136, lk 199-209
45. Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R., Kaur, A. (2016). Wheat starch production, structure, functionality and applications - a review. *International Journal of Food Science and Technology*, Vol. 52, lk 38-58
46. Shewry, P. R. (2009). Wheat. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 60, No 6, lk 1537-1553
47. Soh, H. N., Sissons, M. J., Turner, M. A. (2006). Effect of starch granule size distribution and elevated amylose content on durum dough rheology and spaghetti cooking quality. *Cereal Chemistry*, Vol. 83, No. 5, lk 513-519
48. Stoddard, F. L. (1998). Survey of starch particle-size distribution in wheat and related species. *Cereal Chemistry*, Vol. 76, No 1, lk 145-149
49. Stone, B. A., Morell, M. K. (2009). Carbohydrates. In *Wheat Chemistry and Technology* (4th Edition), AACC International, Inc., St. Paul, MN, ed. Khan, K., Shewry, P. R., lk 308-338
50. Tein, B., Kauer, K., Eremeev, V., Luik, A., Selge, A., Loit, E. (2014). Farming systems affect potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber and soil quality. *Field Crops Research*, Vol. 156, lk. 1-11
51. Zhang C., Jiang D., Liu F., Cai J., Dai T., Cao W. 2010. Starch granules size distribution in superior and inferior grains of wheat is related to enzyme activities and their gene expressions during grain filling, *Journal of Cereal Science*, Vol. 51, lk 226-233
52. Zeng, J., Li, G., Gao, H., Ru, Z. (2011). Comparsion of A and B starch granules from three wheat varieties. *Molecules*, Vol. 16, lk 10570-10591
53. Wilson, J. D., Bechtel, D. B., Todd, T. C., Seib, P. A. (2006). Measurement of wheat starch granule size distribution using image analysis and laser diffraction technology, *Cereal Chemistry*, Vol. 83, lk 259-268

## SUMMARY

Present day wheat is one of the most popular cereal crop. It can be cultivated everywhere if there is usable, arable land. Wheat is mostly used in food industry and for animal feed. Different types of food can be made using wheat flour, such as white bread, pasta and noodles. Wheat baking quality is affected mostly by gluten and starch. Wheat starch is the main compound in grain endosperm. It has important dietary value. Also, starch affects flour baking quality.

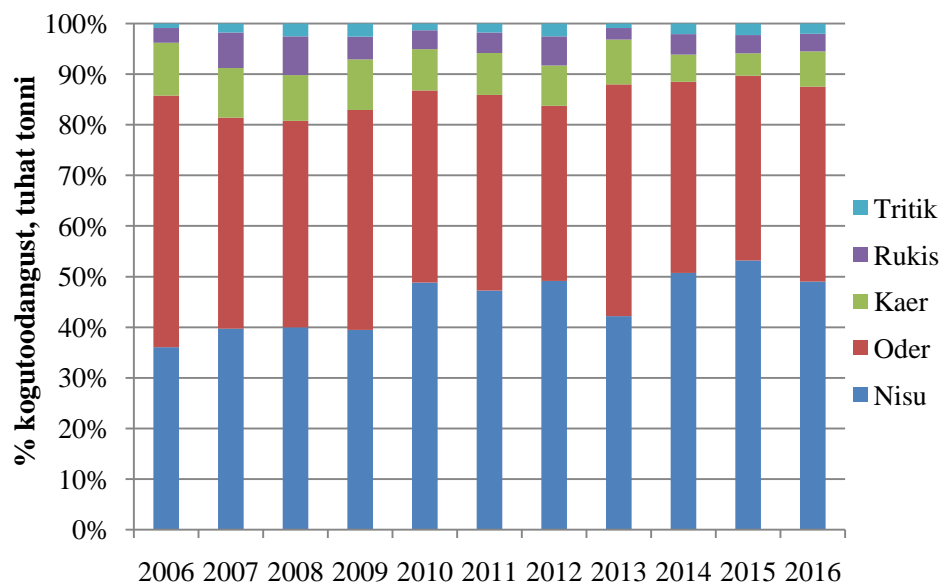
The main aim of this Masters thesis is to find out if farming system has an effect on starch granule characteristics. Also, if the starch, which is produced in different farming systems, has any effect on wheat grain yield and its quality. During this thesis a new method for detecting and measuring starch granule characteristics will be developed, combining two already existing methods.

As a result, manually separated starch has more particles in variable size and amount. Also, farming system does not affect the size and content of different types of starch. Weather has the main influence on starch granule development. Big particles are called A-type and small B-type granules. If the diameter of A-type granules increases, the amount of particles decreases and if the diameter of B-type granules decreases, the amount of particles increases. This is mostly affected by weather conditions.

**LISAD**

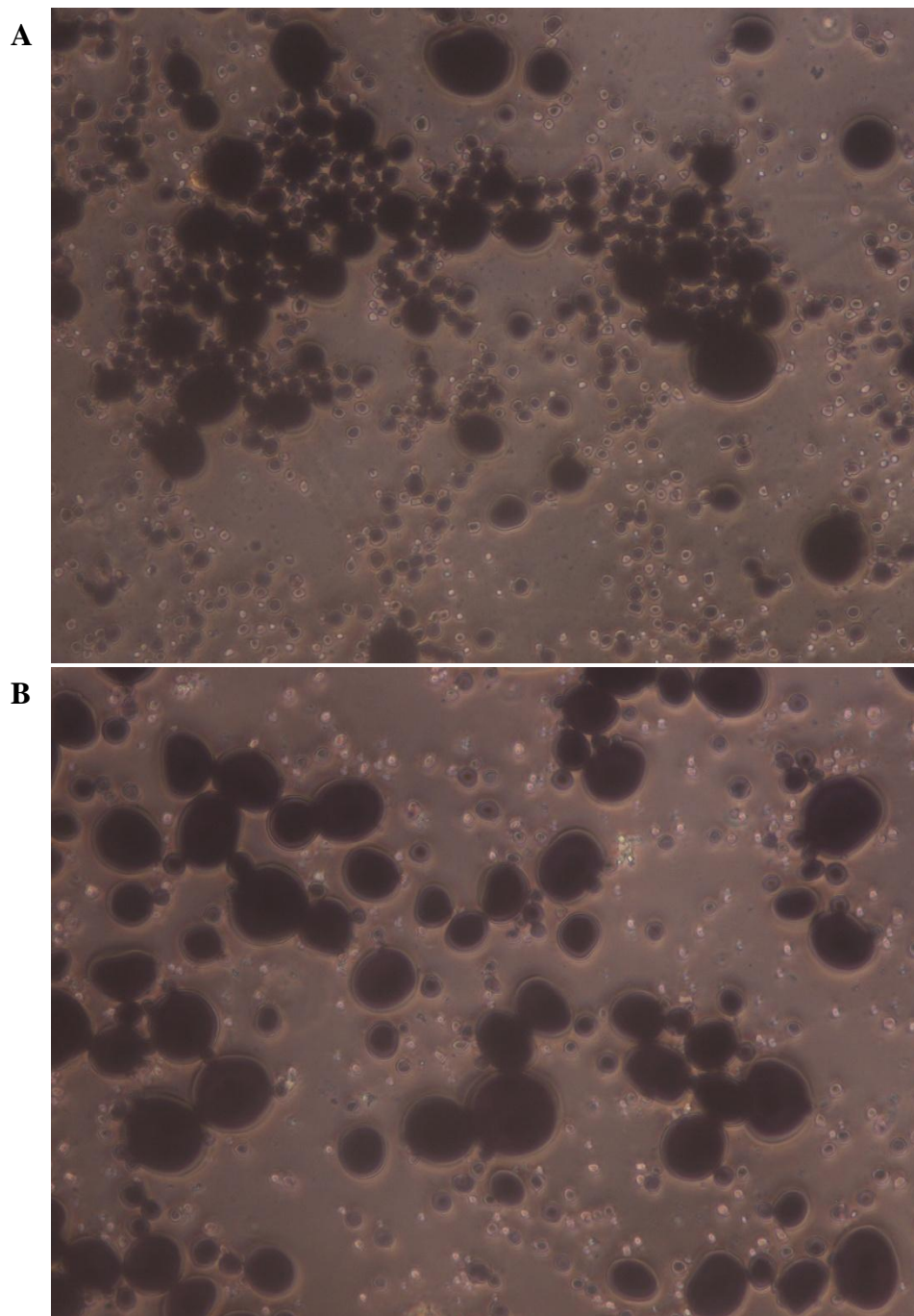


## LISA 1. Teraviljade kasvupind ja kogutoodang aastatel 2006-2016



**Joonis 1.** Enamlevinud teraviljade kogutoodangu muutus aastatel 2006 kuni 2016 Eestis. Enamlevinud teraviljakultuurid Eestis on nisu, oder, kaer, rukis ja tritikale. Nisu ja odra puhul on arvesse võetud suvi- ja talivormide toodang. Valdava osa kogutoodangust moodustavad nisu ja oder, (ca 80%) (mõlemad on toidu- ja söödaviljad), väiksema osa toodangust moodustavad kaer, rukis ja tritik (ca 20%). Allikas: PM04: Põllukultuuride saak. Statistikaamet, 12.05.2017.

## LISA 2. Tärkliserad mikroskoobi all



**Pilt 1.** Tärkliseterad väetusvariandis M3 2015 (A) ja 2016 (B) aastal.

### **LISA 3. Lihtlitsents**